الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليـــــم العـــالي
جامـــــــعة تشـــــرين
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات

تحليل وتصميم الهوائيات الشرائحية باستخدام نظرية Galerin

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الاتصالات

إعداد

م.أمجد سعيدي

بإشراف

المشرف الرئيسي	المشرف المشارك
د.م.السموءل صالح	د.م.معين يونس

العام 2010

قدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات نيل الماجستير في الهندسة الكهربائية في قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات في كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية .

في جامعة تشرين

اللاذقية - سوريا

وقد نوقشت بتاريخ / / وأجيزت

د.م. السموءل صالح	د.م. علي العلي	د.م. عدي علي
جامعة تشرين	جامعة تشرين	أكادمية الأسد

تصريح

أصرح بأن هذا العمل :

"تحليل وتصميم الهوائيات الشرائحية باستخدام نظرية Galerin"

لم يقدم لنيل أي شهادة علمية أخرى ولم ينشر سابقاً في أي مجلة علمية .

المرشح
م. أمجد سعيدي

Declaration

It is hereby declared that this work :

"Analyses and Design of Microstrip Antennas using Galerin theory"

Has not been accept for any degree , or it is submitted to any other degree.

Candidate
Eng . Amjad Saedy

شهادة

نشهد بأن العمل الموصوف في هذه الرسالة هو نتيجة بحث قام به المرشح المهندس أمجد سعيدي بإشراف :

- الدكتور المهندس السموءل صالح (المشرف الأساسي) المدرس في قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين.
- الدكتور المهندس معين يونس (المشرف المساعد) الأستاذ المساعد في قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين.

المرشح	المشرف المشارك	المشرف الأساسي
م. أمجد سعيدي	د.م . معين يونس	د.م. السموءل صالح

Testimony

We certify that declared work in this treatise is result scientific research by the coadunate Amjad Saedy under the supervision of :

- Doctor engineer Al –samawal Saleh . Doctor at the communication – Engineering Department at Faculty of Mechanical and Electrical – Tichreen University.
- Doctor engineer Moen Yones . professor at the communication – Engineering Department at Faculty of Mechanical and Electrical – Tichreen University.

Candidate	assistant supervisor	professor supervisor
Eng. Amjad Saedy	Dr. Eng. Moen Yones	Dr. Eng. Al –samawal Saleh

مقدمة

إن عملية إرسال واستقبال المعلومات بين الناس ،سواء أكانت بين المدن أو بين القارات أو بين الأرض والفضاء الخارجي تتطلب نظام اتصال لاسلكي يقوم على تأمين عملية تبادل هذه المعلومات.ويعتبر الهوائي عنصراً أساسياً في نظم الاتصالات اللاسلكية ،و يقوم بهذه المهمة بكل وثوقية ،وضمانة أكيدة ،وذلك لما يتمتع به من مميزات وخواص إشعاعية تؤمن نقل واستقبال المعلومات بالاتجاه المرغوب .

وبحسب طبيعة النظام المقام فإن عملية إرسال واستقبال المعلومات تكون تبعاً لأطوال موجية مختلفة وبالتالي تبعاً لترددات مختلفة ،وهذا يتطلب استخدام أنواع مناسبة من الهوائيات تكون ملائمة لإجراء الاتصال المطلوب، وهذه الهوائيات تتباين عن بعضها من حيث الشكل والحجم والنوع.

إن الهدف الأساسي من هذا البحث هو دراسة وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة التي تعتبر أحد أكثر الهوائيات انتشاراً حيث تستخدم بشكل واسع في الاتصالات الخليوية والاتصالات الفضائية لما تتميز به من بنية تركيبية بسيطة وتكلفة منخفضة وذلك على الرغم من عرض الحزمة الصغير والفعالية المنخفضة الناتجة عن الضياع في الناقل و العازل .

تعددت طرق دراسة وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة وتميزت كل طريقة عن الأخرى بدقة تصميم معينة تبعاً للمعادلات الرياضية المستخدمة و أهم هذه الطرق:

1- طريقة الفروقات المحددة.
2- طريقة Green.
3- الطريقة التكاملية.

وتوجد طرق حديثة لتحديد هوائي أمثلي ومن هذه الطرق طريقة Genetic Algorithm.

وسندرس في الفصل الثاني كل هذه الطرق وسنحدد إيجابياتها وسلبياتها في تصميم تردد الهوائي الشرائحي المطبوع.

إن الطريقة المستخدمة في دراسة وتصميم الهوائي الشرائحي المطبوع في هذا البحث هي طريقة Galerkin التي تهدف إلى دراسة التقطع في دليل الموجة وحساب الممانعة المكافئة لهذا التقطع، لذلك من أجل تصميم الهوائي الشرائحي المطبوع فإننا نفرض أن هذا الهوائي يوضع في دليل ما وبالتالي سوف يحدث تقطع ثم نحسب ممانعته المكافئة باستخدام طريقة Galerkin أي كأننا حسبنا الممانعة المكافئة للهوائي الشرائحي المطبوع وبالتالي نتمكن من حساب التردد .

يتكون البحث من أربعة فصول أساسية ، وملاحق بالإضافة إلى المراجع ،وهذه الفصول هي :

1- دراسة نظرية وتحليلية ورياضية للهوائي الشرائحي المطبوع ، واستخراج المعادلات الرياضية المميزة له.

2-التعرف على أهم طرق دراسة وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة ، وتحديد إيجابيات هذه الطرق وسلبياتها.

3- دراسة نظرية Galerkin واستخراج المعادلات الرياضية التي سوف نستخدمها في دراسة وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة .

4- القسم العملي ويتضمن :

- دراسة توزع الأنماط وتوزع الجهد وتوزع التيار على الهوائي الشرائحي المطبوع المراد تصميمه.
- دراسة تأثير تغير أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع على توزع الأنماط وتوزع الجهد وتوزع التيار .
- تصميم الهوائي الشرائحي المطبوع (تحديد التردد – ممانعة الدخل).
- تحديد العوامل المؤثرة على تردد الهوائي الشرائحي المطبوع .
- التحقق من النتائج بمقارنة طريقة Galerkin مع الطرق الأخرى المستخدمة في تصميم تردد الهوائي الشرائحي المطبوع .
- تصميم الهوائي الشرائحي المطبوع المستخدم في مخبر الهوائيات باستخدام طريقة Galerkin .

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة الهوائيات الشرائحية المطبوعة والتعرف على طرق تحليلها وتصميمها واستخداماتها وتصنيعها ،ومن ثم تصميم هذه الهوائيات باستخدام نظرية Galerkin.
تم في هذا البحث استنتاج المعادلات الرياضية الممثلة لنظرية Galerkin التي تهدف إلى دراسة التقطع في دليل الموجة وحساب الممانعة المكافئة لهذا التقطع من أجل استخدامها في تحليل وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة .
إن استخدام نظرية Galerkin في تصميم الهوائي الشرائحي المطبوع مكننا من تحديد تردد الهوائي الشرائحي المطبوع بدقة وزمن حساب مناسبين مقارنة مع باقي طرق تصميم الهوائي الشرائحي المطبوع ، ومكننا أيضاً من تحديد القسم التخيلي والحقيقي لممانعة دخل الهوائي الشرائحي المطبوع ، كذلك تمت دراسة علاقة تردد الهوائي الشرائحي المطبوع بأبعاده وملاحظة تغير تردد الهوائي الشرائحي المطبوع وفقاً لتغير أبعاده ، وأيضاً دراسة علاقة تردد عمل الهوائي الشرائحي المطبوع مع عدد الأنماط اللازمة لتصميم هذا الهوائي ،وأخيراً قدم هذا العمل دراسة أثر تغير السماحية الكهربائية للمادة العازلة الموجودة في طبقة الأساس على الخواص الإشعاعية لهذا الهوائي .

Abstract

This search is aiming to study the microstrip printed antennas, and the methods of the analysis and design.

we've concluded the mathematical equations that represent Galerkin theory, which aims to study the discontinuity in a waveguide, and calculate the impedance equivalent , to analyze and design microstrip printed antennas.

Galerkin theory used to calculate the resonant frequency of microstrip printed antenna, it is accuracy and fast method, comparing with the other, it also enabled to determine the real and imaginary part of the input impedance of the antenna.

we studied the relationship between the resonant frequences and the antenna dimensions, and also the relationship between frequency and number of modes needed to design the antenna.

Recently we studied the Permittivity effects of the substrate, on the radiation characteristics.

The result was good agreement with other researchs.

الفهرس

الموضوع رقم الصفحة

الفصل الأول: دراسة نظرية وتحليلية ورياضية للهوائيات الشرائحية المطبوعة

الفصل الثاني : بعض طرق دراسة وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة

الفصل الثالث: نظرية Galerkin

الفصل الرابع : تطبيق نظرية Galerkin على الهوائي الشرائحي المطبوع

الفصل الخامس:التحقق من النتائج بالمقارنة مع طرق حساب تردد الهوائي المطبوع:

الفصل الأول

الهوائيات الشرائحية المطبوعة
Microstrip Printed Antennas

1-1- مقدمة:

يختص هذا الفصل بالدراسة النظرية والتحليلية للهوائيات الشرائحية المطبوعة وتشمل هذه الدراسة تعريف الهوائي الشرائحي المطبوع وطريقة تصنيعه واستخدامه وتغذيته والمعادلات الرياضية المميزة له وطرق زيادة الحزمة الترددية للهوائي الشرائحي المطبوع وأهم ميزاته وأنواعه .

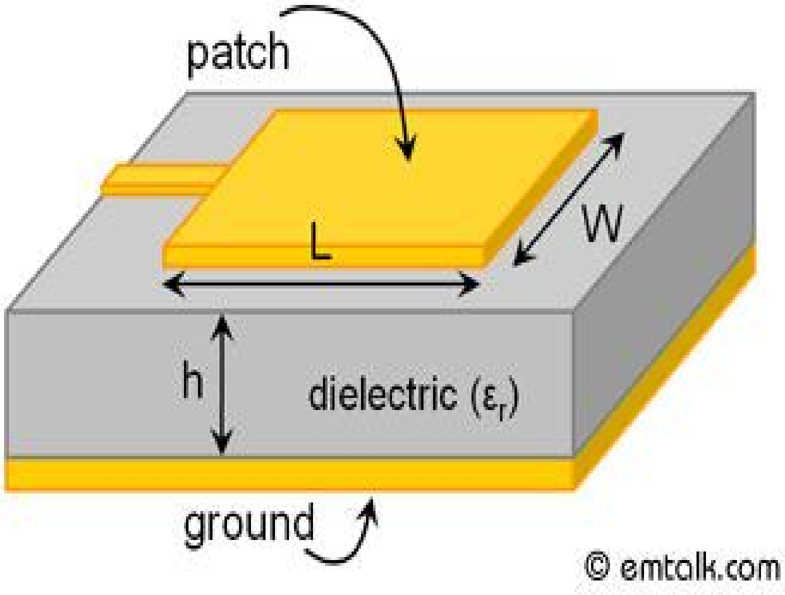
2-1- بنية الهوائيات الشرائحية المطبوعة:

يتكون الهوائي الشرائحي المطبوع من شريط معدني رفيع جداً فوق مستوي أرضي ،ويفصل هذا الشريط (الرقعة) عن المستوي الأرضي بطبقة عازلة تسمى طبقة الأساس ،ويمكن للعناصر المشعة وخطوط التغذية أن تطبع ضوئياً على طبقة الأساس العازلة كهربائياً ،ويمكن للرقعة (الشريط) المشعة أن تكون بشكل مربع أو مستطيل أو دائري أو إهليلجي.....إلخ،غيرأن الشكل المستطيل والشكل الدائري هما الأكثرشيوعاً نظراً لسهولة التحليل الرياضي والتصنيع،ويكون خط التغذية في الغالب هو شريط ناقل ذو عرض أصغر ويمكن كذلك استخدام مغذيات كخط النقل المحوري حيث يربط الناقل الداخلي مع الرقعة المشعة والناقل الخارجي إلى الأرض.

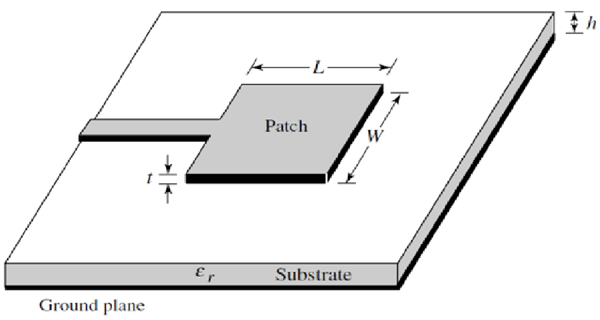
كما يمكن استخدام هذا الهوائي بمفرده أو على شكل مصفوفة بغية الحصول على اتجاهية أكبر.

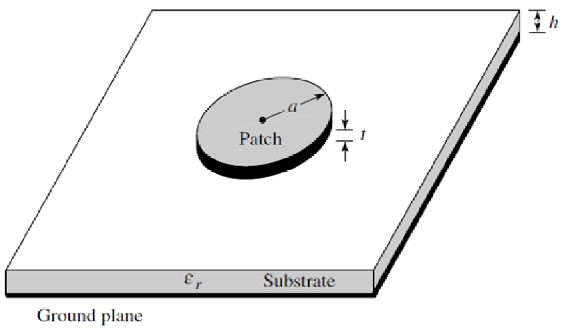
وبسبب دقة سماكة الشريط الميكروي التي هي في الغالب صغيرة جداً فإن الأمواج المتولدة ضمن الطبقة العازلة (بين الرقعة والمستوي الأرضي) تتعرض لانعكاسات كثيرة عند وصولها إلى طرف الرقعة، وبالتالي فإن جزءاً صغيراً منها يشع أي أن الهوائي الشرائحي المطبوع قليل الفاعلية(ربح قليل ومجال ترددي ضيق)،حيث تتعلق خواص الهوائي بسماكة الطبقة العازلة وثابت عازليتها[3].

يبين الشكل التالي البنية العامة للهوائي الشرائحي المطبوع :



الشكل(a-1-1) هوائي شرائحي مطبوع برقعة مستطيلة





الشكل(b-1-1) الهوائيات الشرائحية المطبوعة الأكثر استخداماً (مستطيل - دائرة)

يمكن تمثيل الهوائي الشرائحي المطبوع بشقين عرض كل منها w ويوضع عمودياً على خط التغذية، تنفصل تلك الشقوق (الشرائح) بواسطة ممانعة صغيرة جداً ويكون خط الإرسال عبارة عن صفيحة متوازية بطول L ويساوي تقريباً نصف طول الموجة،و يشكل الشقان صفين من العناصر يبعدان عن بعضهما مسافة L ، وتكون الحقول الناتجة عند الفتحة للشقين ذات استقطاب متعاكس.

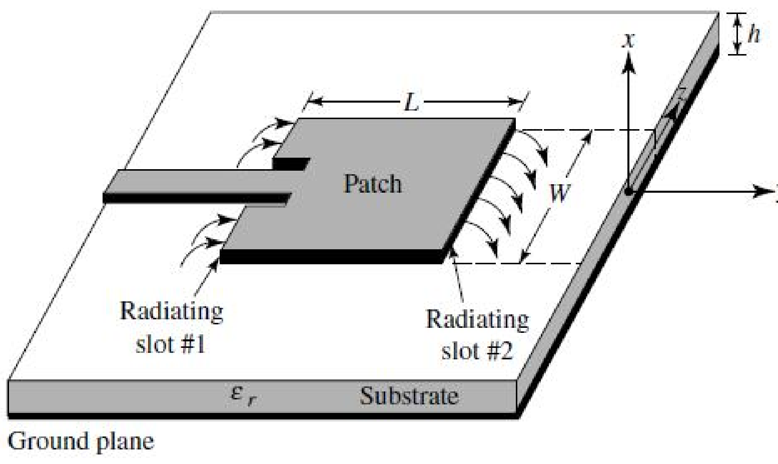
من أجل الهوائيات الشرائحية المطبوعة ذات الشكل المستطيلي يكون لدينا :

- طول الرقعة عادة: $0.3333\lambda_o < L < 0.5\lambda_o$ حيث λ_o طول الموجة في الفراغ الحر.

- سماكة الرقعة: $t \ll \lambda_o$.

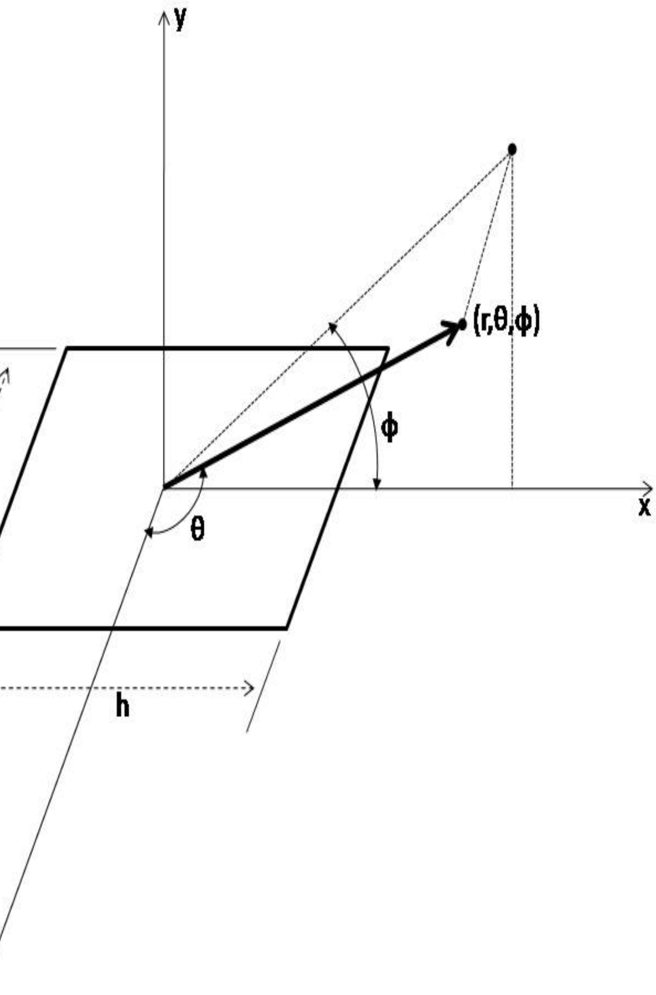
- ارتفاع الركيزة العازلة يكون بحدود $0.003\lambda_o < h < 0.05\lambda_o$

و يظهر الإشعاع الناتج عن الهوائيات الشرائحية المطبوعة بين المحيط الخارجي للرقعة والمستوي الأرضي و بفرض عدم وجود تغيرات للمجال الكهربائي على طول العرض (w) والسماكة (t) للبنية الشريطية ، فإن الحقل الكهربائي الناتج عن الرقعة يظهر كما في الشكل (1-2) :



الشكل(1-2) :الحقل الكهربائي الناتج عن الرقعة

يمكن إيجاد الحقول المشعة بمعاملة الهوائي كفتحة كما هو مبين في الشكل (1-3):



الشكل(1-3)يبين تحليل الحقل الكهربائي عند الفتحة إلى مركباته

إن الحقل الكهربائي عند الفتحة لكل شق يمكن تحليله إلى مركبتين باتجاه X و Y:

1-المركبات باتجاه Y غيرمتفقة بالطور وبالتالي سوف تلغي بعضها البعض.

2-المركبة باتجاه X للحقل الكهربائي عند الفتحة يمكن افتراضها ثابتة وتساوي إلى:

$$E_a = a_x E_0 \begin{Bmatrix} -\frac{h}{2} \le X \le \frac{h}{2} \\ -\frac{w}{2} \le Z \le \frac{w}{2} \end{Bmatrix} \qquad (1\text{-}1)$$

$E_0[V/m]$:قيمة الحقل الكهربائي .

من أجل شريحة مستطيلة أبعادها (w ,L) تكون قيمة الحقل الكهربائي باتجاه المحور X:

$$E_x = A_{mn}\cos(k_y y)\cos(k_z z) = A_{mn}\cos(\frac{m\pi y}{l})\cos(\frac{n\pi z}{w}) \tag{2-1}$$

حيث:

$$k_y^2 + k_z^2 = (\frac{m\pi}{l})^2 + (\frac{n\pi}{w})^2 = k_r^2 = w_r^2\mu_0\varepsilon = (2\pi f)^2\mu_0\varepsilon \tag{3-1}$$

$$(f)_{mn} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\varepsilon\mu_0}}\sqrt{(\frac{m\pi}{l})^2 + (\frac{n\pi}{w})^2} \tag{4-1}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_r \quad ,m = 0,1,2...... \quad , \quad n = 0,1,2..........$$

$f_{mn}[HZ]$: تردد الطنين.

A_{mn} : ثابت المطال.

$[Farad/m]$ ε :ثابت السماحية الكهربائية .

$\mu_0[Henry/m]$: ثابت النفوذية المغناطيسية .

وتحدث ترددات الطنين عندما تكون الشقوق مفصولة بواسطة عدد متناسب مع أنصاف طول الموجة في المادة العازلة.

من أجل(L >w) :

يكون تردد الاهتزاز الأصغري من أجل (m=1,n=0) هو:

$$(f)_{10} = \frac{1}{2l\sqrt{\mu_0\varepsilon}} \tag{5-1}$$

1-3- اتجاهية الهوائيات الشرائحية المطبوعة :

تعرف الاتجاهية على أنها قيمة الربح الموجه في الاتجاه الذي يعطي القيمة العظمى له ،حيث يعرف الربح الموجه على أنه نسبة شدة الإشعاع في اتجاه ما إلى الإشعاع من هوائي مرجعي[9].

وتعطى العلاقة التي تعبر عن ذلك بالشكل التالي :

$$D_0 = \frac{U_{\max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{\max}}{p_{rad}} \qquad (6\text{-}1)$$

حيث :

p_{rad} : استطاعة الإشعاع

$$D_0 = \left(\frac{\pi W}{\lambda_0}\right)\frac{1}{I} \qquad (7\text{-}1)$$

$$I = \int_0^{\pi} \left[\frac{\sin\left(\frac{kw}{2}\cos\theta\right)}{\cos\theta} \right]^2 \sin^3\theta \, d\theta \qquad (8\text{-}1)$$

من أجل قيم صغيرة وكبيرة للقيمة W تكون الاتجاهية كمايلي:

$$D_0 = 4.77 \quad [dB] \qquad for \;\; w << \lambda \qquad (9-1)$$

$$D_0 = 4(w/\lambda) \; [dB] \qquad for \;\; w >> \lambda \qquad (10-1)$$

4-1-ناقلية الإشعاع للهوائيات الشرائحية المطبوعة:

ترتبط ناقلية الإشعاع لكل شق باستطاعة الإشعاع p_{rad} بالعلاقة التالية[9]:

$$G = \frac{2P_{rad}}{|v_0|^2} = \frac{1}{120\pi^2} I :$$

$$I = \int_0^{\pi} \left[\frac{\sin(\frac{kw}{2}\cos\theta)}{\cos\theta} \right]^2 \sin^3\theta d\theta \qquad (11-1)$$

$V_0[volt]$:قيمة الجهد عبر الشريحة.

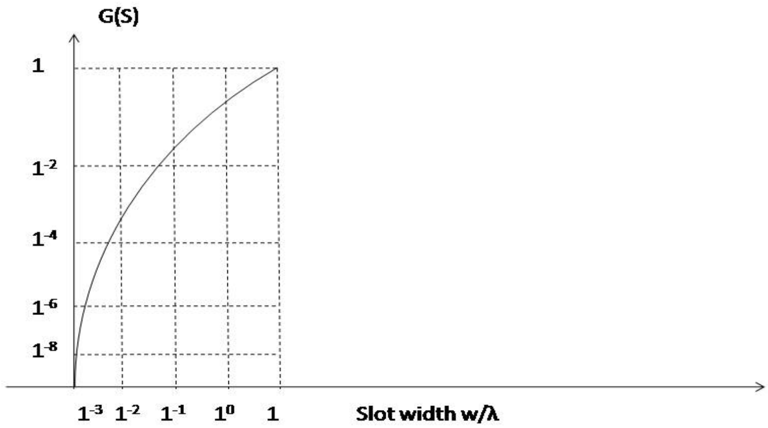
$G[1/\Omega]$: ناقلية الإشعاع .

من أجل قيم صغيرة وكبيرة للقيمة: W تكون ناقلية الإشعاع كمايلي:

$$G \approx \frac{1}{90}(\frac{w}{\lambda})^2 \qquad for \qquad w << \lambda \qquad (12-1)$$

$$G \approx \frac{1}{120}(\frac{w}{\lambda}) \qquad for \qquad w >> \lambda \qquad (13-1)$$

الشكل (1-4) يبين علاقة الناقلية بقيمة W/λ:



الشكل(1-4) :علاقة الناقلية بقيمة W / λ

5-1 - علاقة تردد الطنين للهوائي الشرائحي المطبوع بطول الرقعة L:

$$L = 0,49\lambda_d = 0,49\frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \qquad (14\text{-}1)$$

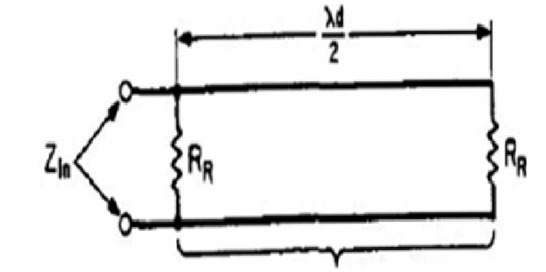
$\lambda_d[m]$:طول الموجة في العازل.

$\lambda_0[m]$:طول الموجة في الفراغ الحر.

$\varepsilon_r[F/m]$:ثابت العازلية النسبي لطبقة الأساس .

6-1 - ممانعة الدخل للهوائي الشرائحي المطبوع:

يمكن حساب ممانعة الدخل للهوائي الشرائحي المطبوع من خلال الدارة المكافئة المبينة في الشكل (1-5) :



الشكل(1-5) الدارة المكافئة للهوائي الشرائحي المطبوع

المقاومة الإشعاعية (R_R) يمكن حسابها بشكل موحد من أجل كل طرف:

$$R_R = \frac{120\,\lambda_0}{W} \qquad [\Omega] \qquad (15\text{-}1)$$

في حال كان الهوائي الشرائحي المطبوع يتألف من حرفين متوازيين فإن ممانعة الدخل تعطى بالعلاقة التالية :

$$R_{in} = \frac{60\,\lambda_0}{W} \qquad [\Omega] \qquad (16\text{-}1)$$

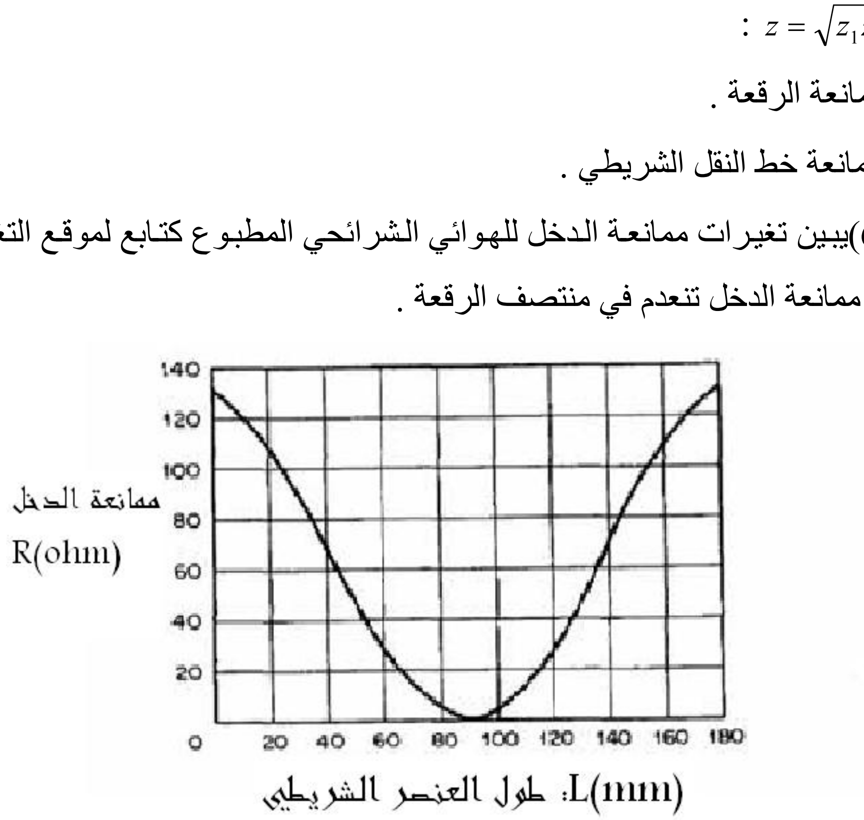
$$R_{in} = \frac{60\lambda_0}{w} = \frac{60\lambda_0}{\frac{\lambda_0}{2}} = 120\Omega \qquad (17\text{-}1)$$

وممانعة خط التغذيـة للشريط الميكروي يجب أن يساوي 120أوم ،ويمكن أن يستخدم خط نقل شـريطي جديـد طولـه $\frac{\lambda}{4}$ مـن أجل تحقيـق الملاءمـة بـين الرقعـة والخـط الـشريطي وممانعتـه المميزة: $z = \sqrt{z_1 z_2}$:

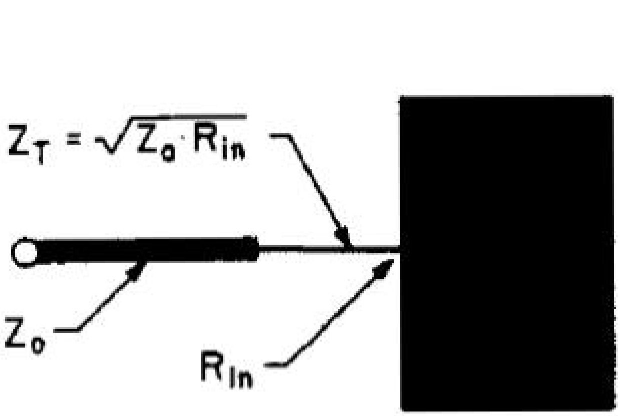
$Z_1[\Omega]$: ممانعة الرقعة .

$Z_2[\Omega]$: ممانعة خط النقل الشريطي .

الشكل(1-6)يبين تغيرات ممانعة الدخل للهوائي الشرائحي المطبوع كتابع لموقع التغذيـة حيث نلاحظ بأن ممانعة الدخل تنعدم في منتصف الرقعة .



الشكل (1-6) تغيرات ممانعة الدخل للهوائي الشرائحي المطبوع كتابع لموقع التغذية



الشكل (1-7) ملائمة العنصر الشريطي باستخدام موصل ربع موجة

1-7- عرض المجال الترددي للهوائي الشرائحي المطبوع BW:

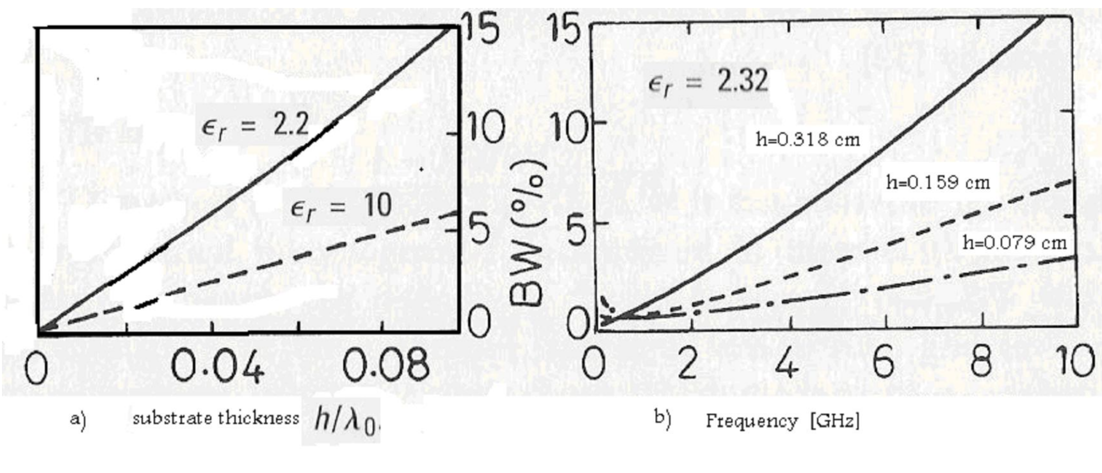
يعرف عرض المجال الترددي للهوائي الشرائحي المطبوع بأنه المجال الترددي الذي تكون فيه ممانعة دخل الهوائي متوافقة مع خط التغذية المباشر،وهذا المجال يتناسب عكساً مع عامل الجودة Q ويعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$BW = \frac{VSWR-1}{Q\sqrt{VSWR}} \qquad (18\text{-}1)$$

$VSWR$: نسبة الأمواج المستقرة

ولهذا السبب يتم أحياناً تحميل الهوائي بمقاومة أومية بحتة لزيادة عرض مجاله الترددي.

يبين الشكل (1-8) علاقة عرض المجال الترددي للهوائي الشرائحي المطبوع بتردد هذا الهوائي و بالقيمة h/λ_0 حيث يشير إلى زيادة عرض المجال الترددي بزيادة سماكة المادة العازلة h .



الشكل(1-8):علاقة عرض المجال الترددي بسماكة المادة العازلة h وبالتردد f

يحسب عرض المجال الترددي للهوائي الشرائحي المطبوع (المستطيلي) بالعلاقة التالية:

$$BW = \frac{Ah}{\lambda_0 \sqrt{\varepsilon_r}} \sqrt{\frac{W}{L}} \qquad (19\text{-}1)$$

حيث A ثابت يتراوح بين [180-200]ونلاحظ أن عرض المجال يزداد بزيادة W.
وهناك علاقة مبسطة لحساب عرض المجال الترددي $BW(GHZ)$ من أجل $VSWR = 2$ لهوائي شرائحي مطبوع يعمل عند التردد $f(GHZ)$ وسماكة الحامل العازل $h(cm)$:

$$BW \approx 50hf^2 \qquad (20\text{-}1)$$

و يمكن تعريف المجال الترددي للهوائي الشرائحي المطبوع من خلال بارمترات الإشعاع للهوائي بأنه المجال الترددي الذي يقل عنده ربح الهوائي إلى النصف (نقطتي نصف الاستطاعة) [2].

1-8- تصنيف الهوائيات الشرائحية المطبوعة حسب طريقة تغذيتها :

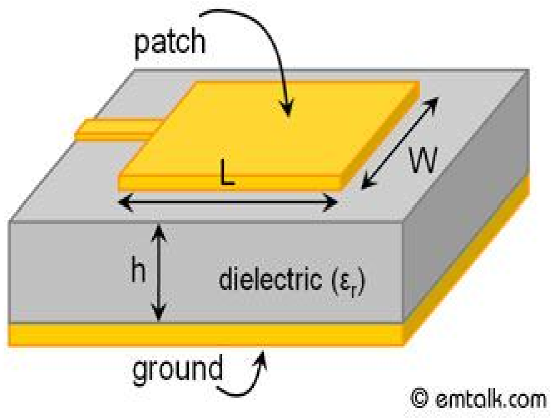
1-8-1 : هوائيات شرائحية مطبوعة ذات تغذية مباشرة :

1- **طريقة الخط الشريطي الضيق(Edg _fed patches):**

يغذى الهوائي بواسطة خط تغذية مطبوع على سطح المادة العازلة ويتصل بحافة الرقعة مباشرة أو في بعض الحالات يتم الوصل عن طريق وصلة من أجل تحقيق الملاءمة بين الممانعات .

ويعتبر موقع نقطة الوصل بالنسبة لمركز الرقعة معامل يؤثر على ممانعة دخل الهوائي .

يتميز هذا الهوائي بعرض حزمة صغير مع وجود نسبة كبيرة من الإشعاع الزائف كون شبكة التغذية غير مفصولة عن الرقعة .



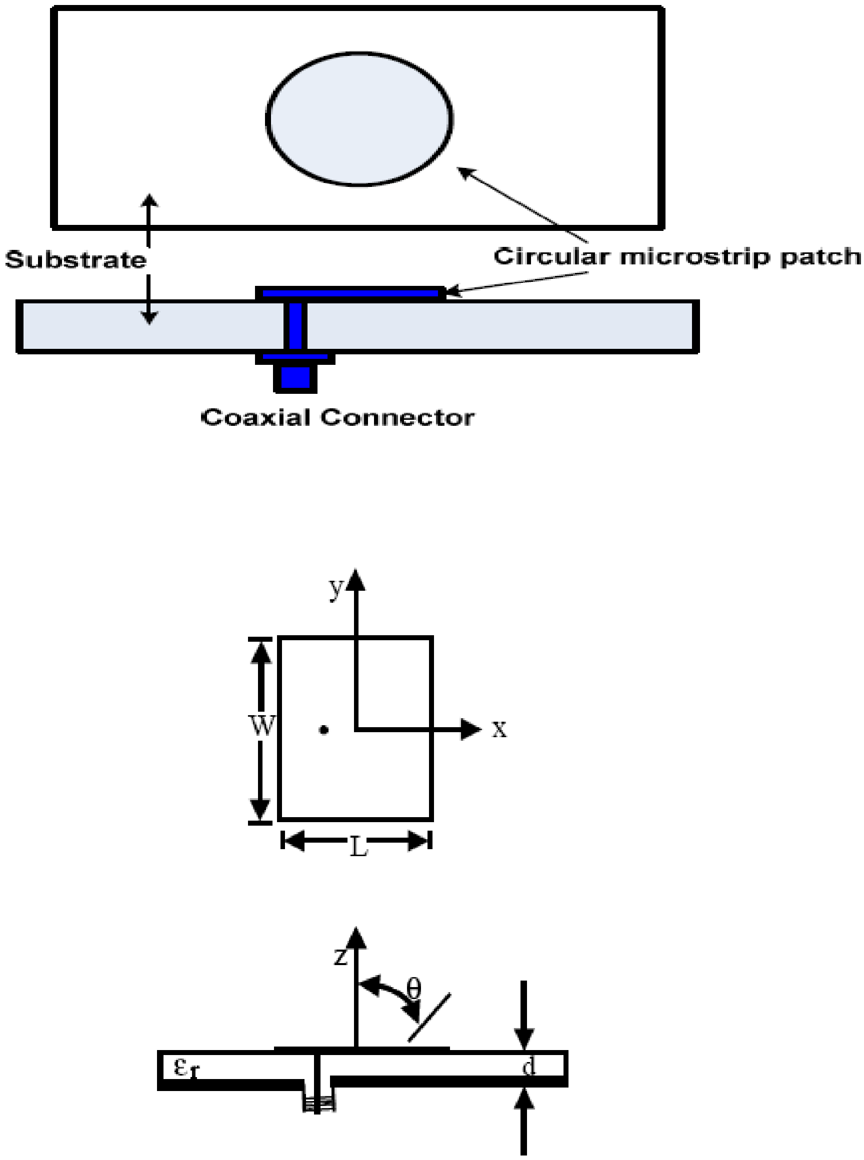
الشكل(1-9):يبين تغذية الهوائي الشرائحي المطبوع بطريقة الخط الشريطي الضيق

2- **طريقة الكبل المحوري(Prope_ fed patches):**

تعتبر التغذية عن طريق الكبل المحوري تقنية معروفة جداً ، حيث يكون الناقل الداخلي للكبل المحوري الممتد ضمن العازل والموصل مع الرقعة المشعة ، بينما الناقل الخارجي يوصل إلى المستوي الأرضي كما هو واضح في الشكل (1-10) .

إن الميزة الرئيسية لهذا النوع من التغذية هو أنه يمكن أن تتوضع في أي موضع مرغوب داخل الرقعة من أجل ملاءمة المقاومة الداخلية ،وتعتبرهذه الطريقة سهلة التركيب وينتج عنها إشعاع زائف بسيط .

لكن السيئة الرئيسية لهذا النوع هي صعوبة توضع الكبل ،حيث تحفر طبقة الأساس من أجل توضع الكبل و يخرج الناقل خارج المستوي الأرضي .

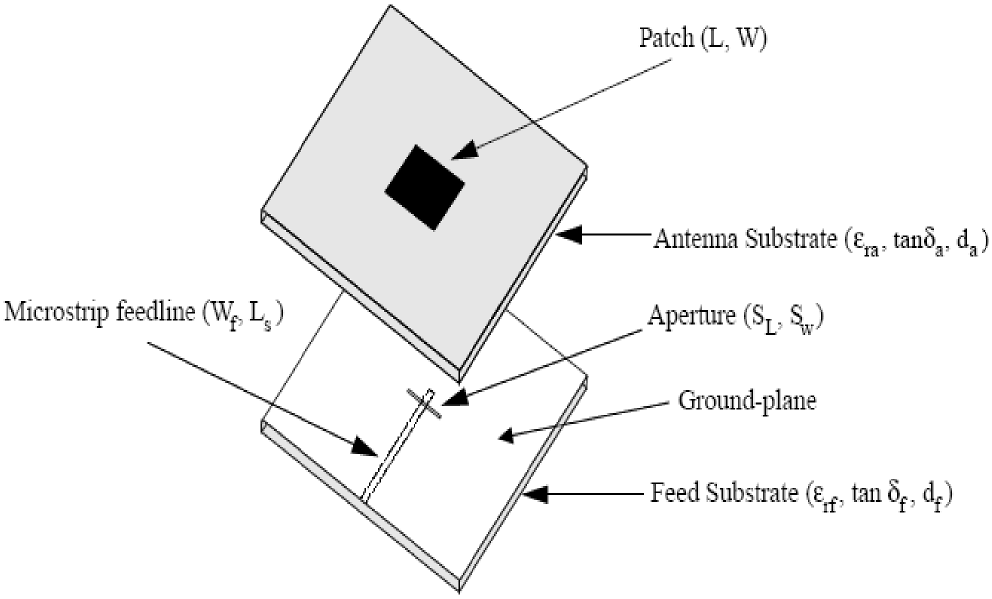


الشكل(1-10):يبين تغذية الهوائي الشرائحي المطبوع بطريقة الكبل المحوري

1-8-2 : هوائيات شرائحية مطبوعة ذات تغذية غير مباشرة :

1- طريقة الاقتران الشقي : (aperture _coupled patches) :

يتميز هذا النوع بوجود صفائح عازلة تفصل بين شبكة التغذية والرقعة كما يلي :



الشكل(1-11): تغذية الهوائي الشرائحي المطبوع بطريقة الاقتران الشقي

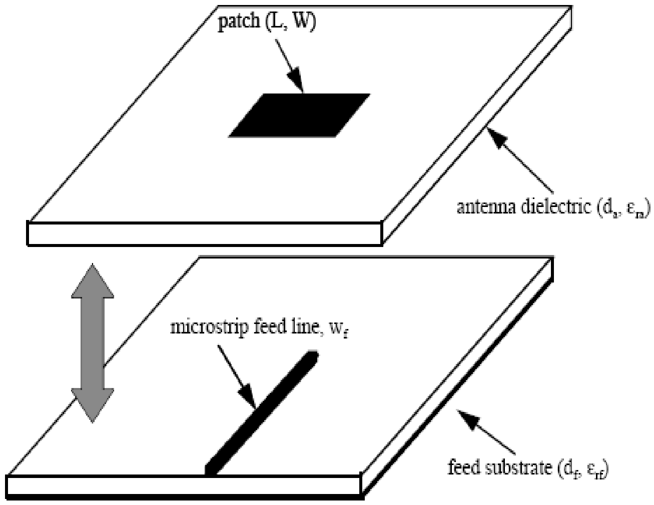
أولاً مادة عازلة ذات سماكة وثابت عازلية محددين يوضع عليها خط التغذية ثم نضع فوقه مباشرة طبقة المستوي الأرضي مع الأخذ بعين الاعتبار نوعية المادة المستخدمة للصق الطبقات لأنها توثر على فعالية الهوائي .

ونضع أيضاًعلى مسافة d فوق الطبقات السابقة مادة عازلة بسماكة وثابت عازلية محددين ونضع عليها الرقعة ، كما يجب اختيار هذه المسافة بدقة لأنها تؤثر على ممانعة الهوائي ولكي نؤمن تغذية الهوائي نصنع شقاً في طبقة المستوي الأرضي ينفذ إلى خط التغذية .

ويتميز هذا الهوائي بعرض حزمة ترددية وربح صغيرين .

2- طريقة الاقتران المتجاور (proximity _coupled patch):

بنيته مشابهة لما سبقه مع عدم وجود طبقة المستوي الأرضي حيث يحدث اقتران مباشر بين الطاقة المشعة من خط التغذية مع حقل الهوائي، وبالتالي فإن هناك نسبة إشعاع زائف كبيرة ، وتؤثر المسافة بين الطبقات على مدى درجة الاقتران لذا يجب أخذها بعين الاعتبار .

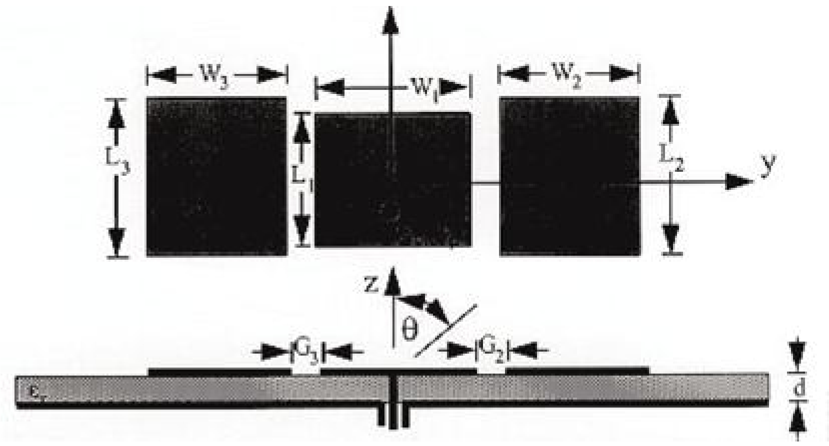


الشكل(1-12): تغذية الهوائي الشرائحي المطبوع بطريقة الاقتران المتجاور

1-9- طرق زيادة عرض حزمة الهوائي الشرائحي المطبوع:

1- الطريقة الأولى :

تقوم على إضافة أكثر من رقعة إلى جانب الرقعة الأساسية والمبدأ يعتمد على مايلي : (إذا اختلف تردد الاهتزاز للرقع المضافة عن تردد الاهتزاز للرقعة الأساسية فإن ذلك يؤدي إلى زيادة عرض حزمة الهوائي)، وبما أن تردد الاهتزاز للرقعة يتعلق بأبعادها فإنه يتم اختيار أبعاد هذه الرقع بحيث نحقق المبدأ السابق وهناك معامل أساسي أخر وهو المسافة بين هذه الرقع بحيث كلما صغر كان عرض الحزمة أكبر .

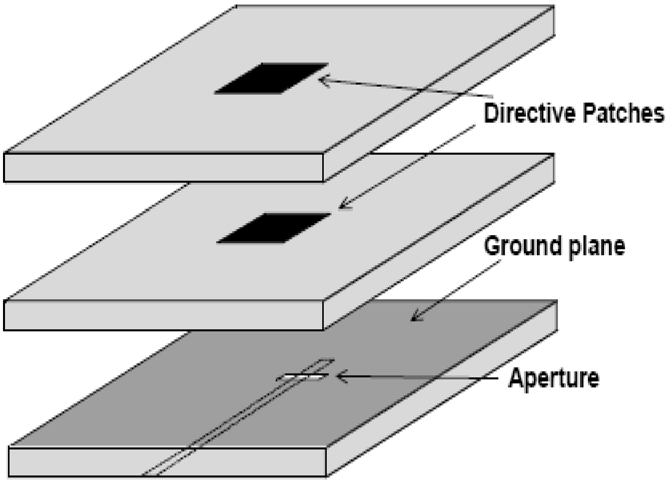


الشكل(1-13):زيادة عرض الحزمة بإضافة أكثر من رقعة إلى جانب الرقعة الأساسية

2- الطريقة الثانية :

وهي الأكثر انتشاراً وتقوم على إضافة رقعة أخرى متوضعة على مادة عازلة دون وجود طبقة المستوي الأرضي حيث توضع هذه البنية فوق الهوائي الأساس مباشرة على مسافة d بحيث يحدث تتطابق تام بين الرقع .

ونظراً لوجود عنصرين مشعين هنا (الرقعتين) فإنه عند رسم مخطط الممانعة لهذا الهوائي نحصل على حلقة رنين وهي معامل أساسي يتعلق بالمسافة d ويحدد عرض حزمة الهوائي حيث كلما قلت d اتسعت الحلقة وزاد عرض الحزمة .



الشكل(1-14):زيادة عرض الحزمة بإضافة رقعة أخرى متوضعة على مادة عازلة

3- الطريقة الثالثة :

وذلك بزيادة حجم الشق في طريقة الاقتران الشقي وبالتالي زيادة درجة الاقتران ومنه عرض الحزمة .

إلا أن هذه الطريقة واجهت عائقين :

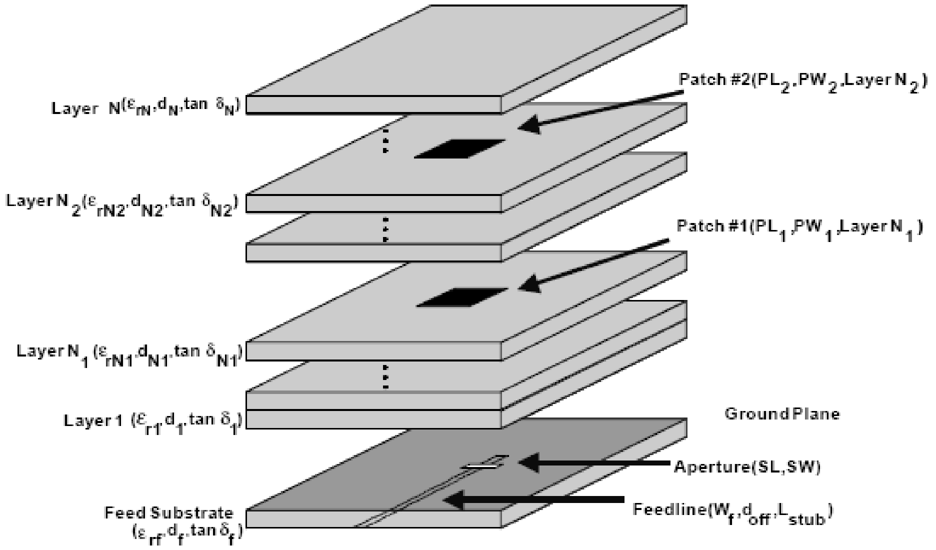
نسبة إشعاع خلفي كبيرة استخدمت للحل طبقة عاكسة وضعت أسفل الهوائي .

إشعاع غير منتظم للهوائي بسبب انكسار أشعته من خلال المستوي الأرضي لذا تم إحاطة حوافها بمادة ماصة .

4-الطريقة الرابعة :

جمعت الطريقتين السابقتين : تعدد الرقع لهوائي الاقتران الشقي مع زيادة في حجم الشق .

وبالتالي نحصل على حلقتي رنين ومنه عرض حزمة كبير .



الشكل(1-15):زيادة عرض الحزمة بتعدد الرقع للهوائي مع زيادة في حجم الشق

و المشكلة الأخرى التي واجهت هذا النوع من الهوائيات هي انقاص حجم الرقعة لدرجة نؤمن معه متطلبات الاستخدام الواسع مع درجة عالية من الجودة .

حيث تم أولاً قصر أحد حواف الرقعة إلى المستوي الأرضي وبالتالي انقاص حجم الرقعة الى النصف ،إلا أن هذه الطريقة أدت إلى انقاص عرض الحزمة، لذا استبدلت الصفيحة المستخدمة للقصر بناقل ذي قطر صغير أمن انقاص حجم الرقعة لكن مع المحافظة على عرض الحزمة .

أما الطريقة الشائعة الاستخدام تقوم فقط على زيادة ثابت العازلية للمادة العازلة حيث غالباً ما يتم استخدام الخزف كمادة عازلة [9] , [1] .

1-10-الارتباط التبادلي للهوائيات الشرائحية المطبوعة:

عندما تكون هناك رقعتان مشعتان أو أكثر بجوار بعضهما البعض فإن التداخل الذي يحدث بينهما يعتمد على ما يلي :

إحداثيات الإشعاع من أجل كل هوائي ،والفصل النسبي فيما بينهم ،وكذلك التوجيه النسبي لكل هوائي . هذا التداخل في الطاقة يعرف باسم الارتباط التبادلي ،ونتيجة أثره الهام في أداء الهوائي فمن الضروري أن يتم ضمه في عملية التصميم ، ويعزى هذا الارتباط بشكل أساسي إلى الحقول الكهرومغناطيسية الموجودة على طول وصلة عازل الهواء.

عندما يتم استخدام الهوائيات الشرائحية المطبوعة على شكل مصفوفة فإن الأداء الأمثل يتم تحقيقه عندما يتم التصميم على أساس الحد الأدنى من الارتباط التبادلي ، وهناك ثلاث نظريات من أجل الارتباط التبادلي :

1- الارتباط بين العناصر الشريطية .
2- الارتباط بين خطوط النقل الشريطية والعناصر الشريطية .
3- الارتباط بين خطوط النقل الشريطية .

- الارتباط بين العناصر الشريطية يؤثر عليه النمط المشكل للعناصر،و الطاقة الإشعاعية .
- الارتباط بين خطوط التغذية والعناصر الشريطية يتأثر بالأنماط الإشعاعية ، طور الإشعاع و مطاله ، ممانعة الهوائي ، وملاءمة (كفاءة) خطوط النقل الشريطية .
- الارتباط بين خطوط النقل يؤثر عليه أيضاً ملاءمة (كفاءة) خطوط النقل .

1-11- **فعالية (كفاءة) الهوائيات الشرائحية المطبوعة :**

من أجل الهوائيات الشرائحية المطبوعة فإن الفعالية أو الكفاءة يمكن تحديدها على أنها على الطاقة المشعة مقسمة على الطاقة المستقبلة على دخل العنصر .

العوامل التي تؤدي إلى انقاص الكفاءة :

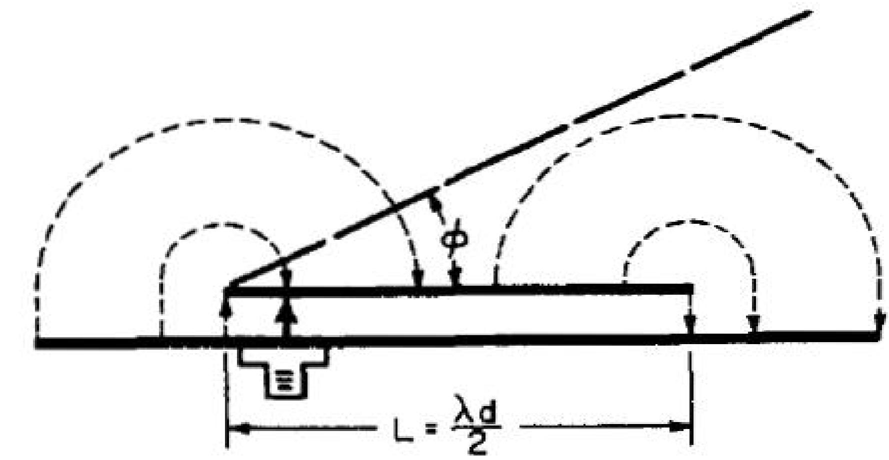
1- ضياعات العازلية.
2- ضياعات التوصيل.
3- الطاقة المنعكسة (VSWR).
4- ضياعات الاستقطاب المتعامد.
5- الطاقة المتشتتة نتيجة أي حمل مرتبط بالعناصر.

1-12- الأنماط الإشعاعية للهوائيات الشرائحية المطبوعة:

يعرف النموذج الإشعاعي على أنه التمثيل التخطيطي للخواص الإشعاعية (للحقل الكهربائي أو المغناطيسي) كتابع للإحداثيات الفراغية (r, θ, ϕ) حيث تتضمن الخواص الإشعاعية كل من العوامل التالية : شدة الإشعاع ، شدة الحقل ، الاستقطاب . ويعتبر النموذج الإشعاعي في أغلب الحالات على أنه عبارة عن التوزيع الفراغي الثلاثي الأبعاد للطاقة المشعة كتابع لموقع نقطة المراقبة ومن أجل بعد قطري ثابت .

ويمكن حساب الأنماط الإشعاعية التي تمتلكها الهوائيات الشرائحية المطبوعة بشكل دقيق ، لأن مصدر الإشعاع عبارة عن حقل كهربائي يظهر عند شقي الهوائي ،أي أن كل شق يشع في جميع الاتجاهات في نصف الفضاء الموجود فوق مستوي الأرضي .

الشكل (1-16) يبين مظهر جانبي لعنصر شريطي مستطيلي الشكل والحقل الكهربائي المشع المرتبط به .



الشكل (1-16) مظهر جانبي لعنصر شريطي مستطيلي مع الإشعاع الرتبط به

يعطى الإشعاع الصادر عن شقي الهوائي بالعلاقة التالية :

$$E = K\cos(\frac{\pi L}{\lambda_0}\cos\varphi) \tag{21-1}$$

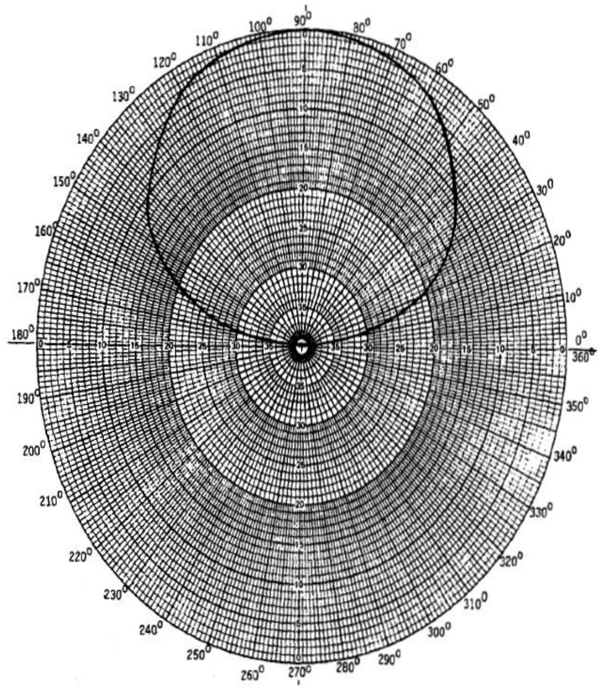
لذلك يصبح العنصر الشريطي في وضعية إصدار رنين عند نصف طول موجة الوسط العازل كهربائياً ومنه فإن :

$$E_{\phi} = K\cos\left(\frac{\pi}{2\sqrt{\varepsilon_r}}\cos\phi\right) \tag{22-1}$$

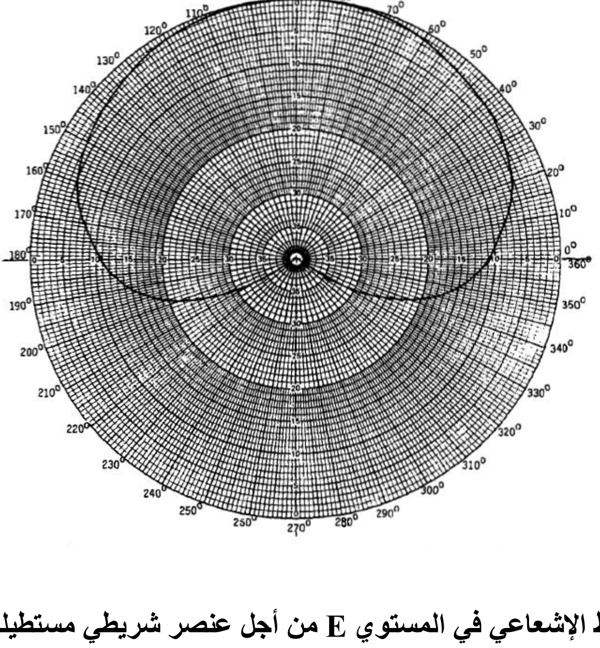
هذه الصيغة صحيحة من أجل $0<\varphi<180$ (فوق مستوي الرقعة) وهي غير موجودة بالقرب من مستوي الرقعة.

يتناقص الإشعاع في نهاية المستوي الأرضي بمقدار (6dB) من اجل $\varphi=180^{\circ},0^{\circ}$ كما أن بعض الإشعاع يمكن أن يظهر في الاتجاه الخلفي لنصف الكرة من أجل $360^{\circ}>\varphi>180^{\circ}$.

- نظرياً تعطى الأنماط الإشعاعية في المستوي (E) من أجل العناصر الشريطية المستطيلة بالشكل (1-17) .



الشكل(a-17-1)**النمط الإشعاعي في المستوي E من أجل عنصر شريطي مستطيلي** $\varepsilon_r = 1$

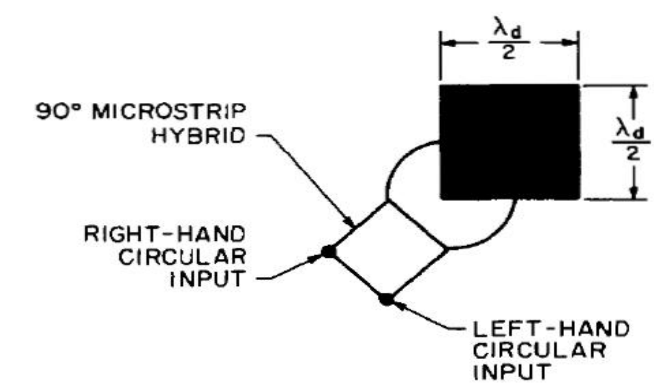


الشكل (b-17-1)النمط الإشعاعي في المستوي E من أجل عنصر شريطي مستطيلي $\varepsilon_r = 2.45$

13-1- الهوائيات الشرائحية المطبوعة ذات الاستقطاب الدائري :

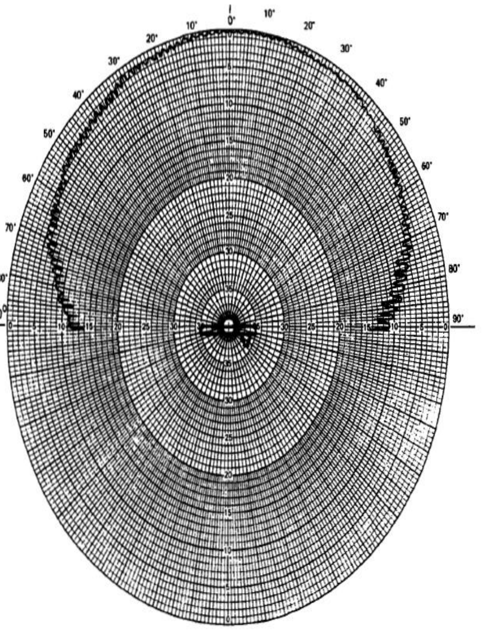
يمتلك العنصر الشريطي ذو الشكل المربع والذي كلاً من أبعاده (W,L) تساوي $(\frac{\lambda_d}{2})$أسلوبين للإشعاع أسلوب شاقولي و آخر أفقي .

إذا تواجد هذان النمطان بشكل متعاكس بالطور بمقدار (90^o) فإن العنصر المربع سوف يشع باستقطاب عامودي وأفقي متعاكسين بالطور بمقدار (90^o) ، وتكون النتيجة استقطاباً دائرياً.



الشكل(1-18) عنصر شريطي مربع ذو استقطاب دائري

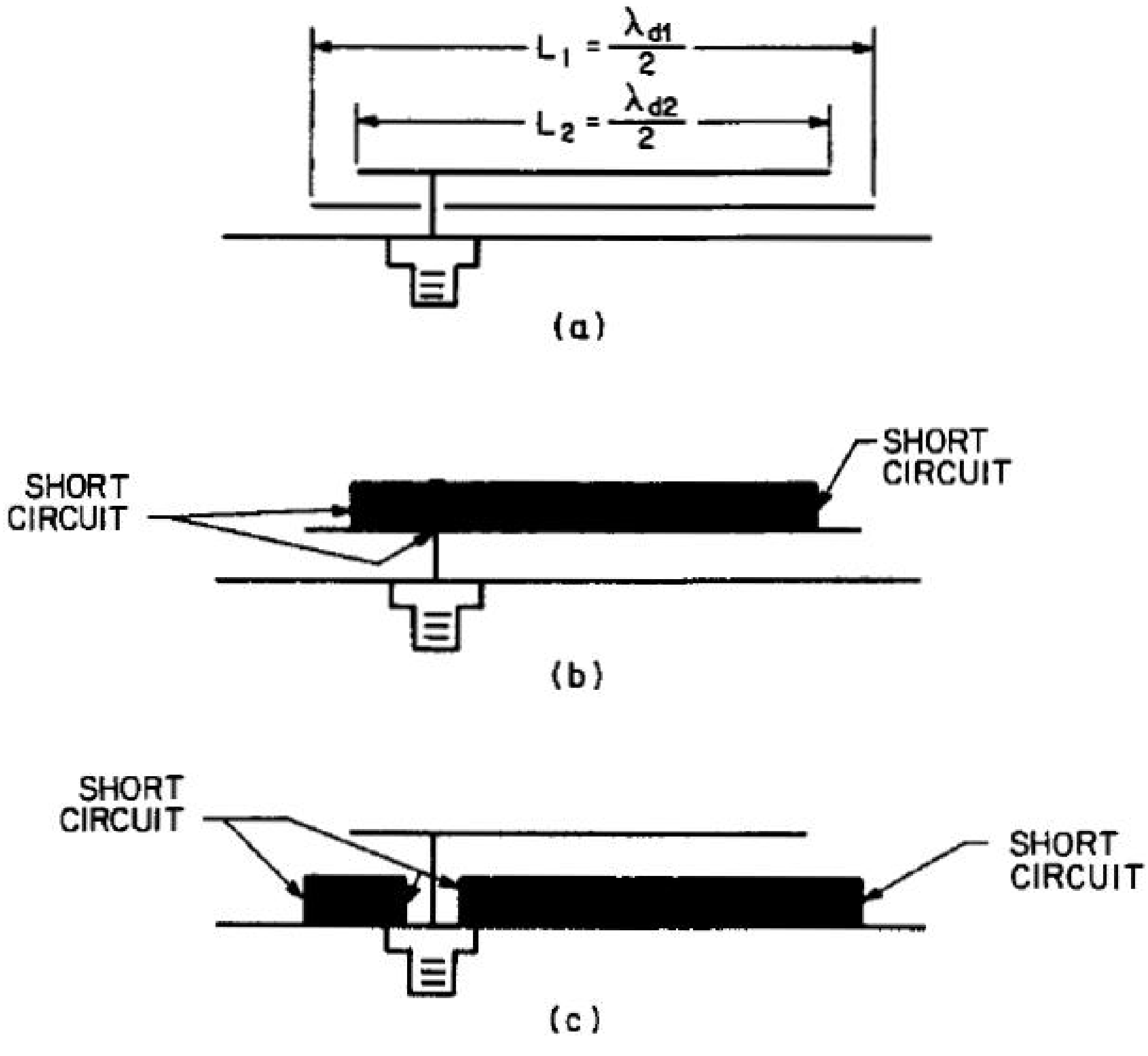
النمط الخطي الدوراني السريع من أجل العنصر دائري الاستقطاب يظهر بالشكل (1-19):



الشكل (1-19): النمط الإشعاعي في المستوي E من أجل عنصر شريطي مربع

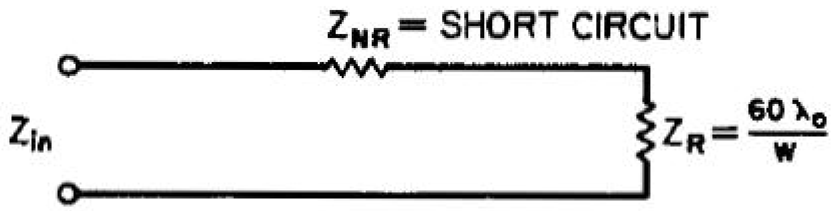
14-1- الهوائيات الشرائحية المطبوعة مزدوجة (ثنائية) التردد :

يمكن تشكيل العناصر الشريطية ذات التردد المزدوج من خلال تجميع عناصر شريطية يتم تغذيتها بشكل تسلسلي كما هو مبين بالشكل (1-20) .



الشكل(1-20) الهوائيات الشرائحية المطبوعة مزدوجة (ثنائية) التردد

مما يسمح للعنصر الشريطي الرنيني أن يعمل بشكل مستقل عن العنصر اللا رنيني طالما أن ممانعة العنصر اللا رنيني تضاف بشكل تسلسلي مع العنصر الرنيني على شكل دارة قصر.

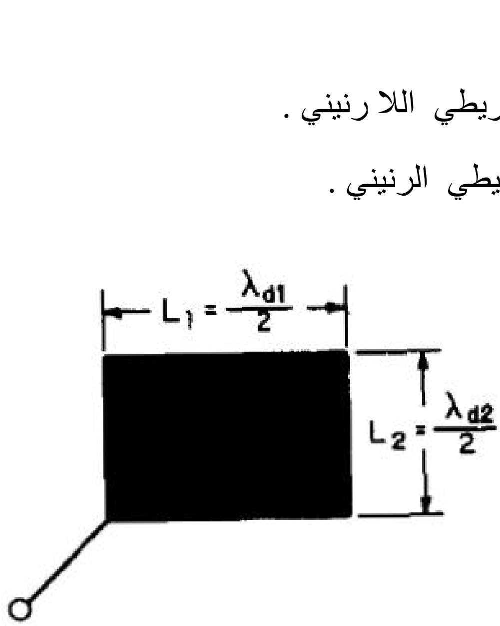


الشكل (1-21) الدارة المكافئة للهوائيات الشرائحية المطبوعة ثنائية التردد

يبين الشكل السابق (1-21) الدارة المكافئة من أجل عنصر شريطي مستطيلي الشكل مزدوج التردد حيث أن :

Z_{NR} : ممانعة العنصر الشريطي اللا رنيني .

Z_R :ممانعة العنصر الشريطي الرنيني .

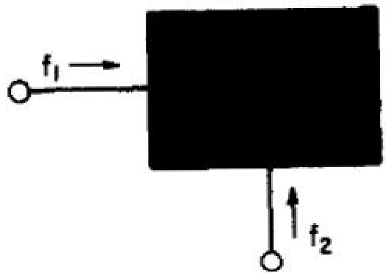


الشكل (1-22) التردد الشاقولي و العامودي من نفس المدخل

العناصر الشريطية ذات الاستقطاب المزدوج هي عناصر شريطية في كل واحد منها يتم اختيار البعدين على أنهما بعدي رنين .

يتم اختيار البعدين على أن يكون البعد (L_1) مساوياً لنصف طول موجة العازل عند التردد الرنيني الأول ، والبعد الثاني (L_2) يكون مساوياً لنصف طول موجة العازل عند التردد الرنيني الثاني .

ويجب أن تتم تغذية العناصر من خلال خطي تغذية مستقلين عند نقاط المنتصف لكل طرف كما هو مبين في الشكل (1-23) .



الشكل (1-23) تغذية الهوائيات الشرائحية المطبوعة ثنائية التردد

في كلتا الحالتين فإن f_1 سوف يشع استقطاب أفقي و f_2 سوف يشع استقطاب عامودي .

1-15- مصفوفات الهوائيات الشرائحية المطبوعة :

غالباً ما يتم استخدام تقنية المصفوفات في الهوائيات الشرائحية المطبوعة من أجل تحسين الكفاءة و الاتجاهية والربح في الأنظمة المشعة ،وذلك بسبب كون الإشعاع من عنصر هوائي مفرد عريض جداً في النمط الإشعاعي ، وهذا ليس جيداً من أجل الاتصال من نقطة إلى نقطة الذي يتطلب هوائيات أكثر توجيهية .

تتألف الهوائيات المصفوفية بشكل أساسي من اجتماع عدة عناصر إشعاعية مرتبة بشكل هندسي معين من أجل توليد النمط الإشعاعي المطلوب ، كل هوائي في المصفوفة يدعى بالعنصر .

النوعان الأساسيان للهوائيات المصفوفية هما :المصفوفات المنتظمة والمصفوفات غير المنتظمة.

هناك ثلاث محاسن للمصفوفات الشرائحية المطبوعة ويمكن تحديدها :

1- إن عملية الطباعة الصفائحية (Photoetching) لمئات بل لآلاف من مكونات العناصر الشريطية ضمن عملية انتاجية واحدة تؤدي إلى تكلفة اقتصادية منخفضة.
2- تمتلك المصفوفات الشرائحية المطبوعة موثوقية عالية كون المصفوفة بالكامل عبارة عن قطعة مستمرة من النحاس ، أما الأنواع الأخرى من الهوائيات تصاب بحالة فشل بالأداء عند نقاط الاتصال الموجودة بين الهوائيات و موصلات الدخل لها .
3- كون لوحات الدارات المطبوعة صغيرة جداً لذلك فإن المصفوفة يتم تصميمها بكفاءة عالية دون أن يكون لها تأثير على السطح المعدني للجسم الحاضن.

16-1 - مزايا الهوائيات الشرائحية المطبوعة:

1- وزنها الخفيف وحجمها الصغير .

3- تعمل في الاستقطاب الخطي والدائري .

4- تكلفتها المنخفضة.

5- متينة ميكانيكياً عندما توضع على السطوح الصلبة .

17-1- مساوئ الهوائيات الشرائحية المطبوعة:

2- كفاءة قليلة .

4-الإشعاعات الإضافية الناتجة عن التغذية .

18-1- استخدامات الهوائيات الشرائحية المطبوعة:

1-اتصالات الأقمار الصناعية .

2-الرادارات.

3 -أجهزة القياس الراديوية.

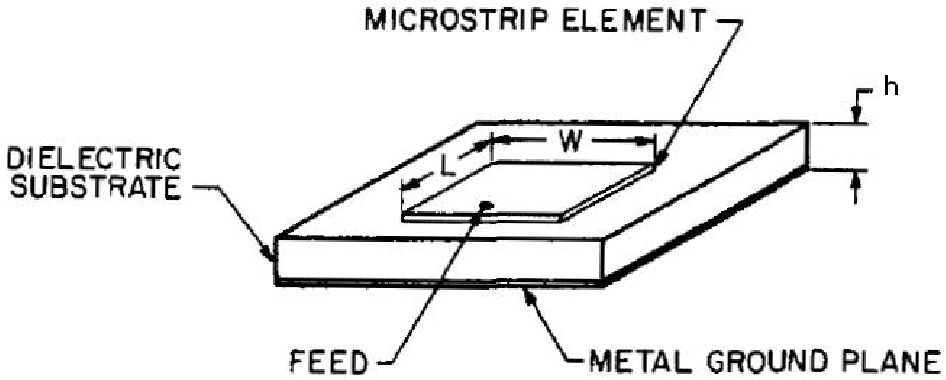
4-التحكم بالطائرات والقذائف عن بعد.

5-أجهزة التشويش.

6-أجهزة الاتصالات الخليوية.

19-1-بارامترات تصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة:

يبين الشكل (1-24) هوائي شرائحي مطبوع يتم تغذيته بواسطة كابل مغذي محوري .



الشكل(1-24) هوائي شرائحي مطبوع مستطيلي الشكل

هناك ثلاثة أنماط لتصميم الهوائي الشرائحي المطبوع حسب مجال الاستخدام :

1-النمط الأول في التصميم بالنسبة لعناصر الهوائيات الشرائحية المطبوعة هو نمط (عنصر الهوائي الشريطي ذو نصف طول الموجة):

- إن الطول (L) هو البعد الأكثر أهمية ويجب أن يكون أصغر من نصف طول الموجة للوسط العازل كهربائياً.

$$L = 0,49\lambda_d = 0,49\frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \qquad (23\text{-}1)$$

حيث :

$L[m]$: طول العنصر الشريطي .

$\varepsilon_r[F/m]$: ثابت العازلية الكهربائية النسبي للمادة العازلة .

$\lambda_0[m]$: طول الموجة في الفضاء الحر.

$\lambda_d[m]$:طول الموجة في العازل.

- يمثل البعد (h) سماكة المادة العازلة و يكون عادة أقل من طول الموجة ، و تحديد قيمة هذا البعد يتم اعتماداً على الحزمة التي يعمل ضمنها الهوائي ويتم عادة تحديدها بشكل تجاري من خلال سماكات اللوحات المتوفرة .
- يمثل البعد (w) عرض العنصر الشريطي و يجب أن يكون أقل من طول الموجة .

2-النمط الثاني بالنسبة لعناصر الهوائيات المطبوعة هو نمط (عنصر الهوائي الشريطي ذو ربع طول الموجة) حيث يتألف هذا النمط من عنصر طوله(L) يساوي ربع طول الموجة للوسط العازل كهربائياً.

3-النمط الثالث المستخدم هو نمط (عنصر الهوائي الشريطي كامل طول الموجة) ويكون مشابهاً للنمط السابق باستثناء كون التغذية تأتي من المركز وطول العنصر (L) يساوي كامل طول الموجة للوسط العازل كهربائياً.

1-20- علاقة تردد الهوائي الشرائحي المطبوع بدلالة بارمترات التصميم :

بفرض طول خط الإرسال للهوائي الشرائحي المطبوع هو : L

عرض العنصر الشريطي : W

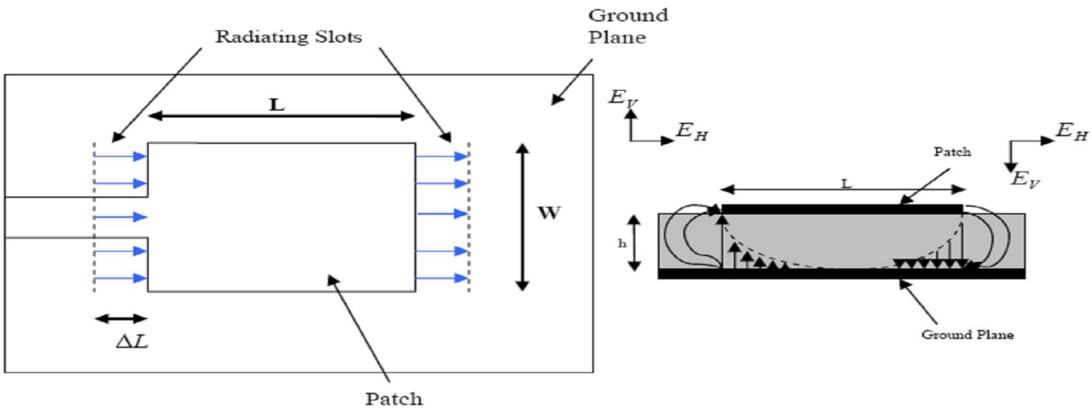
سماكة المادة العازلة :h

يبين الشكل (1-25) الحقول الناتجة عند حافة الرقعة للهوائي الشرائحي المطبوع[9].

إن كمية الحقل عند الحافة هي تابع لأبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع و سماكة المادة العازلة وبالتالي فإن الحقل E عند الحافة هو تابع لنسبة طول الرقعة إلى سماكة المادة العازلة ($\frac{L}{h}$)

وثابت العازلية النسبي للمادة العازلة ε_r .

لذلك يجب أن يكون ثابت العازلية المؤثر ε_{reff} محسوباً من أجل الحافة و من أجل انتشار الموجة.



الشكل(1-25) كمية الحقل عند الحافة تابع لأبعاد الهوائي المطبوع وسماكة المادة العازلة

إن قيمة ε_{reff} أقل بعض الشيء من ε_r بسبب حقول الحافة حول محيط الرقعة والتي لا يمكن حجزانتشارها في طبقة الأساس.

يمكن التعبير عن ε_{reff} بالعلاقة التالية :

$$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}[1 + 12\frac{h}{w}]^{\frac{-1}{2}} \qquad (24-1)$$

حيث :

$\varepsilon_{reff}[F/m]$: ثابت العازلية الفعال.

$\varepsilon_r[F/m]$: ثابت العازلية الكهربائية النسبي للمادة العازلة .

$h[m]$: سماكة المادة العازلة.

$W[m]$: عرض الرقعة.

إن حقول الحافة على طول العرض(w) يمكن أن تمثل كشقين مشعين حيث يبدو الهوائي وكأنه أكبر من أبعاده الفيزيائية ، أي أن طول خط الإرسال للهوائي الشرائحي المطبوع يمتد في كلا الاتجاهين مسافة ΔL :

$$\Delta L = 0.412h\frac{(\varepsilon_{reff} + 0.3)(\frac{w}{h} + 0.246)}{(\varepsilon_{reff} - 0.258)(\frac{w}{h} + 0.8)} \qquad (25-1)$$

يصبح الطول الفعال للهوائي:

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \qquad (26-1)$$

من خلال تردد الرنين f_0 يعطى الطول الفعال بالعلاقة التالية :

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0\sqrt{\varepsilon_{reff}}} \qquad (27-1)$$

c: سرعة الضوء في الفراغ الحر

بالنسبة للهوائي الشرائحي المطبوع يعطى تردد الرنين لأي نمط TE_{mn} بالعلاقة التالية :

$$f_0 = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon_{reff}}}[(\frac{m}{L})^2 + (\frac{n}{w})^2]^{\frac{1}{2}} \qquad (28-1)$$

حيث m و n هما أنماط على طول L و W على التوالي .

الخلاصة :تتلخص إجراءات التصميم بمايلي :

1. من أجل إشعاع فعال ، العرض الفعال الذي من خلاله نحصل على فعالية إشعاعية جيدة يعطى بالقانون التالي:

$$w = \frac{1}{2f_0\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}} \qquad (29-1)$$

2. تحديد ثابت العازلية الفعال للهوائي يتم باستخدام العلاقة التالية :

$$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}[1 + 12\frac{h}{w}]^{\frac{-1}{2}} \qquad (30-1)$$

3.نوجد العرض w باستخدام العلاقة السابقة ، و لتحديد الامتداد ΔL نستخدم العلاقة التالية :

$$\Delta L = 0.412h\frac{(\varepsilon_{reff} + 0.3)(\frac{w}{h} + 0.246)}{(\varepsilon_{reff} - 0.258)(\frac{w}{h} + 0.8)} \qquad (31-1)$$

4.يمكن حساب الطول الفعلي للهوائي باستخدام العلاقة التالية :

$$L = \frac{1}{2f_0\sqrt{\varepsilon_{reff}}\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} - \Delta L \qquad (32-1)$$

1-21- بعض أنظمة الاتصالات التجارية التي تستخدم الهوائيات الشرائحية المطبوعة:

الجدول التالي يوضح بعض أنظمة الاتصالات التجارية التي تقوم بوقتنا الحالي باستخدام الهوائيات الشرائحية المطبوعة والمجالات الترددية العاملة ضمنها :

Application	Frequency
Global Positioning Satellite	**1575 MHz and 1227 MHz**
Paging	**931-932 MHz**
Cellular Phone	**824-849 MHz and 869-895 MHz**
Personal Communication System	**1.85-1.99 GHz and 2.18-2.20 GHz**
GSM	**890-915 MHz and 935-960 MHz**
Wireless Local Area Networks	**2.40-2.48 GHz and 5.4 GHz**
Cellular Video	**28 GHz**
Direct Broadcast Satellite	**11.7-12.5 GHz**
Automatic Toll Collection	**905 MHz and 5-6 GHz**
Collision Avoidance Radar	**60 GHz, 77 GHz, and 94 GHz**
Wide Area Computer Networks	**60 GHz**

الجدول (1-1): بعض أنظمة الاتصالات التجارية التي تستخدم الهوائيات الشرائحية المطبوعة

الفصل الثاني

2-1- طريقة الفروقات المحددة FD -TD :

إن طريقة الفروقات المحددة هي طريقة تقريبية تعطي مباشرة حل معادلات ماكسويل عند نقاط الرقعة المدروسة وذلك في المجال الزمني المدروس[9].

يتم تقسيم الرقعة المطلوب تحليلها إلى عناصر مستطيلة الشكل ذات أبعاد $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$

حيث يتم اختيار التقطيع الفراغي على المحاور الإحداثية الثلاثة حسب البنية المدروسة والتردد العامل .

يتم في البداية افتراض أن كل الحقول معدومة في الشبكة ، ومن ثم يتم حساب الحقول في الخلية المجاورة اعتماداً على هذه القيمة الابتدائية المفروضة ، ثم يتم حساب الحقول في الخلية التالية اعتماداً على قيمة الحقل التي حسبت للتو في الخلية السابقة ....

أي أن المطلوب هو حدوث التأثير المتبادل مابين المواقع المتجاورة ، وذلك خلال تقدم الحقول بخطوات زمنية متقطعة على الخلايا الفراغية .

تتميز هذه الطريقة بمايلي :

1-التعامل مع البنى الهندسية ثلاثية البعد .

2-التعامل مع بنى من مواد ذات ناقلية تتراوح من العازل المثالي إلى الناقل المثالي .

أما سلبيات هذه الطريقة فهي :

1- زمن الحساب كبير نسبياً مقارنة مع بقية الطرق في دراسة وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة.

2- إن شكل الهوائي ضمن البرنامج لايطابق شكل الهوائي التصميمي وذلك بسبب تقسيم الهوائي إلى مجموعة كبيرة من الخلايا ، حيث أن حجم الخلية كبير نسبياً وذلك من أجل اختصار زمن الحساب في البرنامج.

2-2- طريقة Green :

تعتمد هذه الطريقة في تصميم تردد الهوائي الشرائحي المطبوع على قوانين الاستقطاب المتعاكس للحقول الناتجة عن شقي هذا الهوائي[7].

يتم تصميم تردد الهوائي الشرائحي المطبوع باستخدام هذه الطريقة باتباع الخطوات التالية :

1- تحديد أبعاد الهوائي .
2- تحديد مركبة الحقل الكهربائي E=E(x,y).
3- تطبيق معادلات ماكسويل من أجل شريحة مستطيلة الشكل :

$$(\nabla^2 + k^2)E_Z = \nabla M \ : k = 2\pi/\lambda \qquad (1-2)$$

4- استخدم تابع Green من أجل الحصول على العلاقة المعبرة عن التردد بدلالة أبعاد الهوائي .

$$E_Z(x,y) = \iint G(x,y)(\nabla M)\, dxdy \qquad (2-2)$$

$$E(x,y) = \sum \frac{f_{mn}}{k_{mn}^2} A_{mn} \cos(\frac{m\pi}{a}x)\cos(\frac{n\pi}{b}y) \qquad (3-2)$$

حيث : G(x,y) :تابع Green .

a , b :أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع.

m , n :عدد الأنماط بالاتجاهين X,Y

f : تردد الهوائي الشرائحي المطبوع.

A: ثابت المطال.

5- رسم العلاقة المعبرة عن التردد بدلالة الممانعة z=r+jx ويكون التردد المطلوب هو التردد الذي تكون عنده r عظمى و x معدومة .

سلبيات هذه الطريقة :

1-معقدة من أجل عدة أنماط .

2-صعوبة في تحليل المعادلات الرياضية.

3-2-الطريقة التكاملية:

تعتمد هذه الطريقة في حساب تردد الهوائي الشرائحي المطبوع على اتباع الخطوات التالية [6]:

1-رسم الدارة الكهربائية المكافئة للهوائي الشرائحي المطبوع و تحديد السماحيات المتواجدة في الدارة .

2-تحديد قيمة الجهد والتيار والاستطاعة لهذه الدارة الكهربائية .

3-استنتاج العلاقة المعبرة عن التردد بدلالة الضياع في الدارة وذلك بالإعتماد على تكاملات معقدة وطويلة.

4- تتم التغذية بحقل وحيد النمط من أجل رسم العلاقة المعبرة عن التردد بدلالة الضياع ويكون التردد المطلوب هو التردد الذي يكون عنده الضياع أقل مايمكن .

سلبيات هذه الطريقة:

1- من أجل أبعاد كبيرة للهوائي يزداد الضياع وبالتالي لايوجد دقة في تحديد التردد.
2- التكاملات المستخدمة معقدة وطويلة .
3- صعوبة في تحليل المعادلات الرياضية المستخدمة.

4-2- طريقة Genetic Algorithm:

تعتبر هذه الطريقة وسيلة للوصول إلى الحل الأمثل في حساب تردد الهوائي الشرائحي المطبوع حيث تعتمد على ترميز البرمترات ترميزاً ثنائياً تدعى هذه البرمترات بالمورثات ومجموعة هذه المورثات تدعى الصبغيات [5].

تبدأ العملية الحسابية (حسب القوانين الموجودة) على قائمة الصبغيات وتستمر حتى تشمل كل النقاط التي تم اختيارها.

يتم حساب تردد الهوائي الشرائحي المطبوع باستخدام هذه الطريقة باتباع الخطوات التالية :

1-إن البرمترات التي سوف يتم ترميزها ترميزاً ثنائياً هي :

ا- أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع (h , k) .

ب- سماكة المادة العازلة l .

ج- ثابت العازلية للمادة العازلة .

2- كل بارمتر يتم ترميزه ثنائياً وبالتالي مجموعة هذه البرمترات تشكل الصبغي.

3- كل بارمتر يعطى مجال معين ويقسم إلى n نقطة .

4-يتم حساب تردد الهوائي الشرائحي المطبوع والربح عند جميع النقاط ويكون التردد المطلوب هو التردد الذي يكون عنده الربح أكبر مايمكن .

إن هذه الطريقة دقيقة وجيدة في تحديد التردد إلا أنها طويلة ومعقدة من أجل عدة أنماط وهناك صعوبة في تحديد المجال من أجل الحصول على التردد المطلوب .

الطريقة	المبدأ الأساسي في تصميم التردد	الإيجابيات	السلبيات
الفروقات المحددة FD -TD	تقسيم الرقعة إلى خلايا متساوية و حساب الحقول في كل خلية اعتماداًعلى الحقول في الخلية التي قبلها.	1-التعامل مع البنى الهندسية ثلاثية البعد .	1- زمن الحساب كبير 2- شكل الهوائي ضمن البرنامج لايطابق شكل الهوائي التصميمي وذلك بسبب تقسيم الهوائي .
Green	تطبيق قانون Greenعلى قوانين الاستقطاب المتعاكس للحقول الناتجة عن شقي الهوائي .	1- رسم العلاقة المعبرة عن التردد بدلالة الممانعة .z=r+jx	1- معقدة من أجل عدة أنماط . 2- صعوبة في تحليل المعادلات الرياضية.
الطريقة التكاملية	استنتاج العلاقة المعبرة عن التردد بدلالة الضياع في الدارة .	1- رسم الدارة الكهربائية المكافئة للهوائي الشرائحي و تحديد السماحيات المتواجدة في الدارة 2- تحديد قيمة الجهد والتيار والاستطاعة لهذه الدارة الكهربائية	1- من أجل أبعاد كبيرة للهوائي يزداد الضياع وبالتالي لايوجد دقة في تحديد التردد. 2- التكاملات المستخدمة معقدة وطويلة.
Genetic Algorithm	تعتمد على ترميز البرمترات ترميزاً ثنائيا ثم تطبيق قوانين المورثات والصبغيات عليها.	1- تعتبر هذه الطريقة الأمثل في حساب تردد الهوائي الشرائحي.	1- طويلة ومعقدة من أجل عدة أنماط. 2- صعوبة في تحديد المجال من أجل الحصول على التردد المطلوب.
Galerkin	حساب الممانعة المكافئة للتقطع في دليل الموجة.	1- زمن الحساب صغير على الرغم من استخدام كل الأنماط. 2- رسم الدارة الكهربائية المكافئة للهوائي الشرائحي و تحديد السماحيات المتواجدة في الدارة 3- تحديد قيمة الجهد والتيار والاستطاعة لهذه الدارة الكهربائية 4- رسم العلاقة المعبرة عن التردد بدلالة الممانعة .	

الفصل الثالث

نظرية Galerkin

3-1- مقدمة:

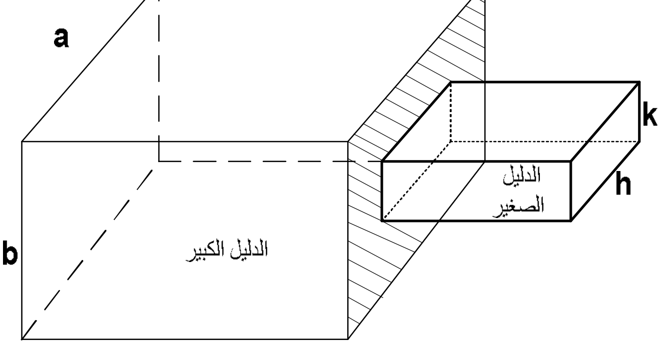
إن الطريقة المستخدمة في دراسة وتصميم الهوائي الشرائحي المطبوع في هذا البحث هي طريقة Galerkin التي تهدف إلى دراسة التقطع في دليل الموجة وحساب الممانعة المكافئة لهذا التقطع.

3-2- دراسة نظرية Galerkin :

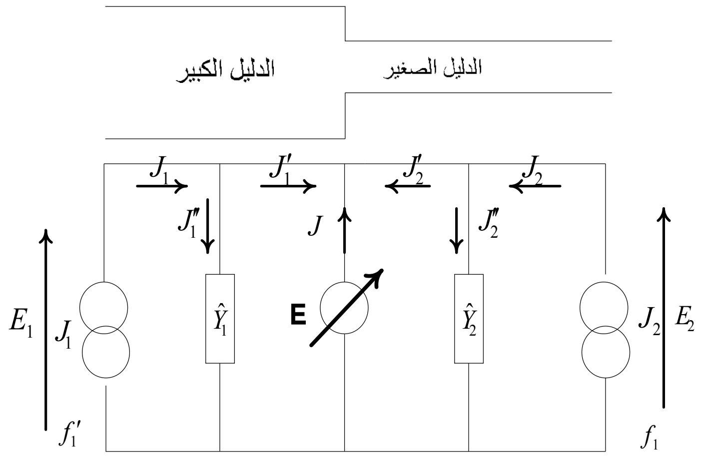
يتم حساب الممانعة المكافئة للتقطع في دليل الموجة بمكافئة التقطع مع دليل الموجة بدارة كهربائية ثم حساب الممانعة المكافئة لهذه الدارة.

بفرض أن أبعاد دليل الموجة a, b وأبعاد التقطع c , d أو h , k (h=c , k=d).

يبين الشكل(3- 1) : التقطع في دليل الموجة والدارة الكهربائية المكافئة له.



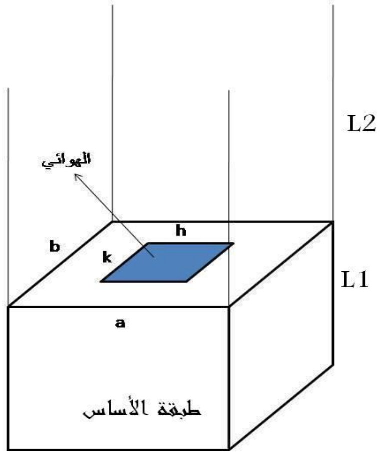
الشكل(3-1-a): التقطع في دليل الموجة



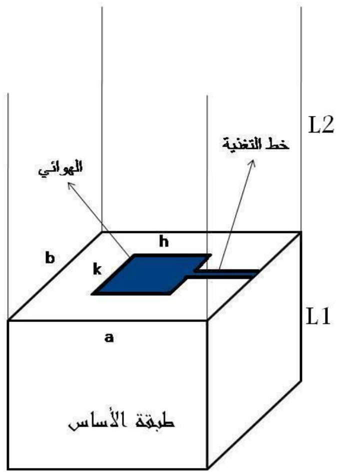
الشكل(3-1-b):الدارة الكهربائية المكافئة للتقطع في دليل الموجة

من أجل تصميم الهوائي الشرائحي المطبوع نفرض بأن هذا الهوائي يوضع في دليل ما وبالتالي سوف يحدث تقطع نحسب ممانعته المكافئة باستخدام طريقة Galerkin أي كأننا حسبنا الممانعة المكافئة للهوائي الشرائحي المطبوع وبالتالي نتمكن من حساب التردد .

يبين الشكل(3-2) : تطبيق نظريةGalerkin على الهوائي الشرائحي المطبوع في الحالتين (بوجود خط تغذية – دون وجود خط تغذية) .



الشكل(3-2-a)تطبيق نظرية Galerkinعلى الهوائي الشرائحي المطبوع (دون وجود خط تغذية)



الشكل(3-2-b)تطبيق نظرية Galerkinعلى الهوائي الشرائحي المطبوع (بوجود خط تغذية)

3-3- التحليل الرياضي للدارة الكهربائية المكافئة:

Y_1: السماحية المعبرة عن الدليل الكبير.

Y_2: السماحية المعبرة عن الدليل الصغير.

J_1:التيار الناتج عن أنماط الدليل الكبير.

J_2: التيار الناتج عن أنماط الدليل الصغير.

E1: منبع الجهد الناتج عن أنماط الدليل الكبير.

E2: منبع الجهد الناتج عن أنماط الدليل الصغير.

E: منبع الجهد المعبر عن التقطع في دليل الموجة.

من الدارة الكهربائية المكافئة نجد:

$$E = E_1 = E_2 \qquad (1\text{-}3)$$
$$J + J_1' + J_2' = 0 \Rightarrow J = -J_1' - J_2'$$

$$J_1' = J_1 - J_1'' : J_1'' = E_1 Y_1$$
$$J_2' = J_2 - J_2'' : J_2'' = E_2 Y_2$$
$$J_1' = J_1 - E_1 Y_1 = J_1 - E Y_1$$
$$J_2' = J_2 - E_2 Y_2 = J_2 - E Y_2$$

$$\Rightarrow J = -J_1 - J_2 + (Y_1 + Y_2)E \qquad (2\text{-}3)$$

يمكن كتابة المعادلتين(3-1)و(3-2) بالشكل:

$$\begin{vmatrix} E_1 \\ E_2 \\ J \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & Y_1 + Y_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} J_1 \\ J_2 \\ E \end{vmatrix} \qquad (3\text{-}3)$$

بفرض أنه لدينا نمط واحد منتشر في الدليل الكبير هو $f_1^{'}$ ونمط واحد منتشر في الدليل الصغير هو f_1 :

لذلك يمكن أن نكتب:

$$\begin{aligned} E_1 &= V_1 f_1^{'} \Rightarrow J_1 = I_1 f_1^{'} \\ E_2 &= V_2 f_1 \Rightarrow J_2 = I_2 f_1 \\ E &= \sum_q X_q f_q \end{aligned} \qquad (4\text{-}3)$$

V1: قيمة الجهد الناتج عن الأنماط المنتشرة في الدليل الكبير.

V2: قيمة الجهد الناتج عن الأنماط المنتشرة في الدليل الصغير.

X_q :مطال الحقل الكهربائي E.

f_q :الأنماط الأساسية المؤثرة على التقطع.

أما في حال وجود عدة أنماط في كل دليل يكون لدينا:

$$\begin{aligned} J_1 &= \sum_n I_{1n} f_n^{'} \\ J_2 &= \sum_n I_{2n} f_n \end{aligned} \qquad (5\text{-}3)$$

من أجل معرفة الأنماط المنتشرة في الدليل سنستخدم تابع محاولة $f_p = f_q$ لذلك تصبح المعادلة (3-3) بالشكل التالي:

$$\begin{vmatrix} V_1 \\ V_2 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & < f_1^{'} / f_p > \\ 0 & 0 & < f_1 / f_p > \\ - < f_p / f_1^{'} > & - < f_p / f_1 > & < f_p (Y_1 + Y_2) f_q > \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \sum_q X_q \end{vmatrix} \qquad (6\text{-}3)$$

$< f_1^{'} / f_p >$:الجداء السلمي لتابع المحاولة مع الأنماط المنتشرة في الدليل الكبير .

$< f_1 / f_p >$:الجداء السلمي لتابع المحاولة مع الأنماط المنتشرة في الدليل الصغير .

$< f_p (Y_1 + Y_2) f_q >$:القيمة المعبرة عن سماحيتي الدارة الكهربائية وجميع الأنماط المنتشرة في هذه الدارة .

في الحالة العامة التي يتم فيها انتشار جميع الأنماط في الدارة يمكن كتابة المعادلة (3-6) بالشكل التالي:

$$\begin{vmatrix} V_1 \\ V_2 \\ 0 \\ 0 \\ \\ \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & \langle f_1 f_1^{'} \rangle & \langle f_2 f_1^{'} \rangle & & \langle f_p f_1^{'} \rangle \\ 0 & 0 & \langle f_1 f_1 \rangle & \langle f_2 f_1 \rangle & & \langle f_p f_1 \rangle \\ -\langle f_1 f_1^{'} \rangle & -\langle f_1 f_1 \rangle & \langle f_1 (Y_1 + Y_2) f_1 \rangle & & & \langle f_1 (Y_1 + Y_2) f_q \rangle \\ -\langle f_2 f_1^{'} \rangle & -\langle f_2 f_1 \rangle & \langle f_2 (Y_1 + Y_2) f_1 \rangle & & & \langle f_2 (Y_1 + Y_2) f_q \rangle \\ \\ \\ -\langle f_p f_1^{'} \rangle & -\langle f_p f_1 \rangle & \langle f_p (Y_1 + Y_2) f_1 \rangle & & & \langle f_p (Y_1 + Y_2) f_q \rangle \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ X_1 \\ X_2 \\ \\ \\ X_Q \end{vmatrix}$$

يمكن أن نكافئ هذه المعادلة المصفوفية بالمصفوفة التالية :

$$\begin{vmatrix} V_1 \\ V_2 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & [A] \\ 0 & 0 & [B] \\ -[A]^t & -[B]^t & [D] \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ [X] \end{vmatrix} \qquad (7\text{-}3)$$

$$V_1 = [A][X], V_2 = [B][X]$$

$$[A]^t I_1 + [B]^t I_2 = [D][X] \Rightarrow \left[[A]^t [B]^t\right] \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = [D][X] \Rightarrow$$

$$[X] = [D]^{-1} \left[[A]^t [B]^t\right] \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [A] \\ [B] \end{bmatrix} [X] \Rightarrow \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [A] \\ [B] \end{bmatrix} [D]^{-1} \left[[A]^t [B]^t\right] \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$[Z] = \begin{bmatrix} [A] \\ [B] \end{bmatrix} [D]^{-1} \left[[A]^t [B]^t\right] \qquad (8\text{-}3)$$

تعبر المعادلة (3-8) عن ممانعة التقطع في دليل الموجة.
حيث :

[A]:مصفوفة الأنماط المنتشرة في الدليل الأول.

[B]:مصفوفة الأنماط المنتشرة في الدليل الثاني.

[D]:مصفوفة الأنماط المنتشرة في الدليلين الأول والثاني وسماحيتي الدليلين الأول و الثاني .

3-4- حساب المصفوفة D:

$$D_{pq} = < f_p (y_1 + y_2) \; f_q > \tag{9-3}$$

$$\begin{aligned} D_{pq} &= < f_p (y_1) f_q > + < f_p (y_2) f_q > = \sum < f_p / f_n' > y_1^{TE} < f_n' / f_q > + < f_p / f_n > y_2^{TE} < f_n / f_q > \\ &+ < f_p / f_n' > y_1^{TM} < f_n' / f_q > + < f_p / f_n > y_2^{TM} < f_n / f_q > \end{aligned}$$

$$D_{pq} = \sum \frac{\left| < f_p / f_{TE} > \right|^2}{y_1^{TE} + y_2^{TE}} + \sum \frac{\left| < f_p / f_{TM} > \right|^2}{y_1^{TM} + y_2^{TM}} \tag{10-3}$$

حيث :

$$y_1^{TE} = (\gamma_1 / jw\mu_0) \cot(\gamma_1 l_1) \;,\; y_2^{TE} = (\gamma_2 / jw\mu_0) \cot(\gamma_2 l_2)$$
$$y_1^{TM} = (jw\varepsilon_0 / \gamma_1) \cot(\gamma_1 l_1) \;,\; y_2^{TM} = (jw\varepsilon_0 \varepsilon_r / \gamma_2) \cot(\gamma_2 l_2)$$
$$l_1 = l \quad , l_2 >> l_1 \quad , \quad w = 2\pi f \quad , \quad k_0 = 2\pi / \lambda$$
$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} , \varepsilon_0 = 1/36\pi 10^9$$

$${\gamma_2}^2 = \frac{m^2 \pi^2}{a^2} + \frac{n^2 \pi^2}{b^2} - k_o^2 , \gamma_1^2 = \frac{m^2 \pi^2}{a^2} + \frac{n^2 \pi^2}{b^2} - k_0^2 \varepsilon_r \tag{11-3}$$

$\lambda[m]$:طول الموجة.

$c[m/\sec]$:سرعة الضوء في الخلاء.

$f[HZ]$:تردد الهوائي الشرائحي المطبوع.

$l[m]$: سماكة المادة العازلة.

γ_1, γ_2:ثابت الانتشار.

3-5- العلاقات الرياضية المعبرة عن الأنماط المنتشرة في الدليلين الكبير والصغير:

1-الدليل الكبير**:** TE_{mn}, TM_{mn} :

TE_{mn} :

$$E_x^e = \frac{n\sqrt{\frac{2\tau_{mn}}{ab}}}{b\sqrt{\frac{n^2}{b^2}+\frac{m^2}{a^2}}}\cos\frac{m\pi x}{a}\sin\frac{n\pi x}{b} : x = x+\frac{a}{2}, y = y+\frac{b}{2} \qquad (12-3)$$

$$E_y^e = \frac{-m\sqrt{\frac{2\tau_{mn}}{ab}}}{a\sqrt{\frac{n^2}{b^2}+\frac{m^2}{a^2}}}\sin\frac{m\pi x}{a}\cos\frac{n\pi x}{b} \qquad (13-3)$$

$TM_{mn:}$

$$E_x^m = \frac{-m\sqrt{\frac{2\tau_{mn}}{ab}}}{a\sqrt{\frac{m^2}{a^2}+\frac{n^2}{b^2}}}\cos\frac{m\pi x}{a}\sin\frac{n\pi y}{b} \qquad (14-3)$$

$$E_y^m = \frac{-n\sqrt{\frac{2\tau_{mn}}{ab}}}{b\sqrt{\frac{m^2}{a^2}+\frac{n^2}{b^2}}}\sin\frac{m\pi x}{a}\cos\frac{n\pi y}{b} \qquad (15-3)$$

$$A_{mn} = Ae = Am = \frac{\sqrt{\frac{2\tau}{ab}}}{\sqrt{\frac{m^2}{a^2}+\frac{n^2}{b^2}}} \qquad (16-3)$$

A_{mn}: ثابت يتعلق بالدليل الكبير

τ_{mn}: ثابت يتعلق بالأنماط m ,n

2-الدليل الصغير: te_{mn}, tm_{mn} :

te_{mn} :

$$e_x^e = \frac{n'}{d} A'_{mn} \cos\frac{m'\pi x}{c} \sin\frac{n'\pi y}{d} \qquad (17-3)$$

$$e_y^e = \frac{-m'}{c} A'_{mn} \sin\frac{m'\pi x}{c} \cos\frac{n'\pi y}{d} \qquad (18-3)$$

tm_{mn} :

$$e_x^m = \frac{-m'}{c} A'_{mn} \cos\frac{m'\pi x}{c} \sin\frac{n' by}{d} \qquad (19-3)$$

$$e_y^m = \frac{-n}{d} A'_{mn} \sin\frac{m'\pi x}{c} \cos\frac{n' by}{d} \qquad (20-3)$$

6-3- العلاقة الرياضية المعبرة عن تأثير التقطع على توزع الأنماط:

سوف ندرس تأثير التقطع على توزع الأنماط في أربع حالات:

TE/te , TE/tm , TM/te , TM/tm

1-الحالة الأولى(TE/te):النمط المنتشر في الدليل الأول TE والنمط المنتشر في الدليل الثاني te وعدد الأنماط في الدليل الأول q(m, n) وعدد الأنماط في الدليل الثاني p(m', n') أو p(m1,n1).

بتطبيق قانون الجداء السلمي بين النمطين المنتشرين:

$$I = \left\langle f_p / f_q \right\rangle = \iint_{xy} (f_{px}^* f_{qx} + f_{py}^* f_{qy})\, dxdy \qquad (21\text{-}3)$$

$$f_{px} = e_x = (n'/d)\, A'_{m'n'} \cos(m'\pi x/c)\sin(n'\pi y/d)$$

$$f_{py} = e_y = (-m'/c)\, A'_{m'n'} \sin(m'\pi x/c)\cos(n'\pi y/d)$$

$$f_{qx} = E_x = (n/b)\, A_{mn} \cos(m\pi x/a)\sin(n\pi y/b)$$

$$f_{qy} = E_y = (-m/a)\, A_{mn} \sin(m\pi x/a)\cos(n\pi y/b)$$

$$A'_{m'n'} = \sqrt{\frac{\frac{2\tau_{m'n'}}{cd}}{(\frac{n'}{d})^2 + (\frac{m'}{c})^2}} = CN1 : \tau_{m'n'} = 2 : n' \ \& \ m' = 0, \tau_{m'n'} = 1 : n' (or) m' = 0$$

$$A_{mn} = \sqrt{\frac{\frac{2\tau_{mn'}}{ab}}{(\frac{n}{b})^2 + (\frac{m}{a})^2}} = CN : \tau_{m'n'} = 1 : n \neq m, \tau_{m'n'} = 0 : n = m$$

$$I = \iint \frac{n'n}{db} A'_{m'n'} A_{mn} \cos(\frac{m'\pi x}{c}) \sin(\frac{n'\pi y}{d}) \cos(\frac{m\pi x}{a}) \sin(\frac{n\pi y}{b}) dxdy +$$
$$\iint \frac{m'm}{ca} A'_{m'n'} A_{mn} \sin(\frac{m'\pi x}{c}) \cos(\frac{n'\pi y}{d}) \sin(\frac{m\pi x}{a}) \cos(\frac{n\pi y}{b}) dxdy =$$
$$A'_{m'n'} A_{mn} \left[\frac{n'n}{db} \int_x \cos\frac{m'\pi x}{c} \cos\frac{m\pi x}{a} dx \int_y \sin\frac{n'\pi y}{d} \sin\frac{n\pi y}{b} dy \right] +$$
$$A'_{m'n'} A_{mn} \left[\frac{m'm}{ca} \int_x \sin\frac{m'\pi x}{c} \sin\frac{m\pi x}{a} dx \int_y \cos\frac{n'\pi y}{d} \cos\frac{n\pi y}{b} dy \right]$$

$$I = < TE / te > = A'_{mn} A_{mn} \left[\frac{nn'}{db} I_1 I_2 + \frac{mm'}{ca} I_3 I_4 \right] \qquad (22-3)$$

$$I_1 = \int_{-\frac{c}{2}}^{\frac{c}{2}} \cos\frac{m'\pi x}{c} \cos\frac{m\pi x}{a} dx = i_{cx} \qquad (23-3)$$

$$I_2 = \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} \sin\frac{n'\pi y}{d} \sin\frac{n\pi y}{b} dy = i_{sy} \qquad (24-3)$$

$$I_3 = \int_{-\frac{c}{2}}^{\frac{c}{2}} \sin\frac{m'\pi x}{c} \sin\frac{m\pi x}{a} dx = i_{sx} \qquad (25-3)$$

$$I_4 = \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} \cos\frac{n'\pi y}{d} \cos\frac{n\pi y}{b} dy = i_{cy} \qquad (26-3)$$

$$\Rightarrow I = \frac{nn_1}{db} CN\, CN_1 (i_{cx}\, i_{sy}) + \frac{mm_1}{ca} CN\, CN_1 (i_{sx}\, i_{cy})$$

$$\Rightarrow I = \frac{nn_1}{db} CN\, CN_1\, J_X + \frac{mm_1}{ca} CN\, CN_1\, J_Y \qquad (27\text{-}3)$$

حساب Jx, J_Y **:**

$$i_{cx} = \int_{x1}^{x2} \cos(\frac{m\pi x}{a}) \cos(\frac{m_1 \pi x}{a}) dx =$$

$$\frac{1}{2} \frac{a}{(m+m_1)\pi} \left[\sin(m+m_1) \frac{\pi x_2}{a} - \sin(m+m_1) \frac{\pi x_1}{a} \right] +$$

$$\frac{1}{2} \frac{a}{(m-m_1)\pi} \left[\sin \frac{(m-m_1)\pi x_2}{a} - \sin \frac{(m-m_1)\pi x_1}{a} \right] =$$

$$i_{cx} = i_{cc} = \frac{x_2}{2} \left[\sin c((m+m_1) \frac{\pi x_2}{a}) + \sin c((m-m_1) \frac{\pi x_2}{a}) \right] - \frac{x_1}{2} \left[\sin c((m+m_1) \frac{\pi x_1}{a}) + \sin c((m-m_1) \frac{\pi x_1}{a}) \right] \qquad (28\text{-}3)$$

وبنفس الطريقة للتكامل الثاني:

$$i_{sy} = i_{ss} = \int_{y1}^{y2} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{n_1 \pi y}{b} dy =$$

$$i_{sy} = i_{ss} = \frac{y_2}{2} \left[\sin c(n-n_1) \frac{\pi y_2}{b} - \sin c(n+n_1) \frac{\pi y_2}{b} \right] - \frac{y_1}{2} \left[\sin c(n+n_1) \frac{\pi y_1}{b} - \sin c(n-n_1) \frac{\pi y_1}{b} \right] \qquad (29\text{-}3)$$

وبالتالي يكون التكامل:

$$J_X = i_{cx}\, i_{sy} \qquad (30\text{-}3)$$

وبنفس الطريقة يكون التكامل الثاني:

$$J_Y = i_{sx}\, i_{cy} \qquad (31\text{-}3)$$

2-الحالة الثانية (TE/tm):النمط المنتشر في الدليل الأول TE والنمط المنتشر في الدليل الثاني tm وعدد الأنماط في الدليل الأول q(m, n) وعدد الأنماط في الدليل الثاني p(m', n') أو .p(m1,n1)

$$< TE / tm >= A'_{mn} A_{mn} \left[\frac{-nm'}{bc} I_1 I_2 + \frac{n'm}{da} I_3 I_4 \right] \quad (32\text{-}3)$$

3-الحالة الثالثة (TM/te):النمط المنتشر في الدليل الأول TM والنمط المنتشر في الدليل الثاني te وعدد الأنماط في الدليل الأول q(m, n) وعدد الأنماط في الدليل الثاني p(m', n') أو .p(m1,n1)

$$< TM / te >= A'_{mn} A_{mn} \left[\frac{-n'm}{da} I_1 I_2 + \frac{m'n}{cb} I_3 I_4 \right] \quad (33\text{-}3)$$

4-الحالة الرابعة (TM/tm):النمط المنتشر في الدليل الأول TM والنمط المنتشر في الدليل الثاني tm وعدد الأنماط في الدليل الأول q(m, n) وعدد الأنماط في الدليل الثاني p(m', n') أو .p(m1,n1)

$$< TM / tm >= A'_{mn} A_{mn} \left[\frac{mm'}{ac} I_1 I_2 + \frac{nn'}{bd} I_3 I_4 \right] \quad (34\text{-}3)$$

الفصل الرابع

تطبيق نظرية Galerkin على الهوائي الشرائحي المطبوع

4-1- مقدمة:

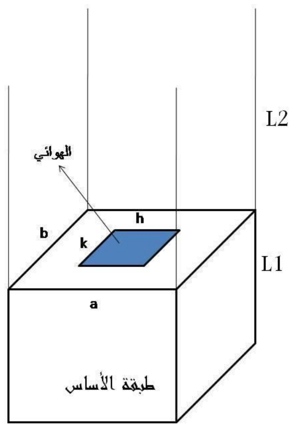
بما أن الهدف الأساسي من نظرية Galerkin هو حساب الممانعة المكافئة للتقطع في دليل الموجة لذلك من أجل تصميم الهوائي الشرائحي المطبوع نفرض بأن هذا الهوائي يوضع في دليل ما وبالتالي سوف يحدث تقطع نحسب ممانعته المكافئة باستخدام طريقة Galerkin أي كأننا حسبنا الممانعة المكافئة للهوائي الشرائحي المطبوع وبالتالي نتمكن من حساب التردد .

سوف تتم الدراسة والتصميم في الحالتين التاليتين:

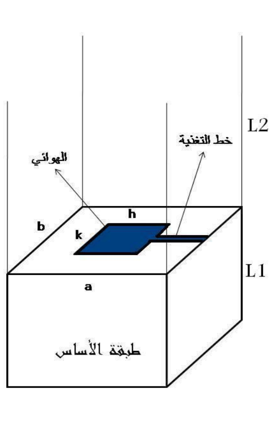
1- تطبيق نظرية Galerkinعلى الهوائي الشرائحي المطبوع (دون وجود خط تغذية).

2- تطبيق نظرية Galerkinعلى الهوائي الشرائحي المطبوع (بوجود خط تغذية).

حيث : أبعاد دليل الموجة: (a,b) و أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع: (h , k).



الشكل(4-1-a)تطبيق نظرية Galerkinعلى الهوائي الشرائحي المطبوع (دون وجود خط تغذية)



الشكل(4-1-b)تطبيق نظرية Galerkinعلى الهوائي الشرائحي المطبوع(بوجود خط تغذية)

2-4 - الدراسة الأساسية لتصميم التردد:

من أجل دراسة و تصميم تردد الهوائي الشرائحي المطبوع سوف نركز على:

1- دراسة تأثير التقطع على توزع الأنماط.

2- دراسة تأثير التقطع على توزع التيار.

3- دراسة تأثير التقطع على توزع الجهد.

4- دراسة تأثير تغير أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع مع ثبات أبعاد الدليل على توزع الجهد وتوزع التيار وتوزع الأنماط.

4-2-1- دراسة تأثير التقطع على توزع الأنماط:

تمت دراسة تأثير التقطع على توزع الأنماط في أربع حالات:

1 -الحالة الأولى(TE/te):النمط المنتشر في الدليل الأول TE والنمط المنتشر في الدليل الثاني te وعدد الأنماط في الدليل الأول q(m, n) وعدد الأنماط في الدليل الثاني p(m', n') أو p(m1,n1).

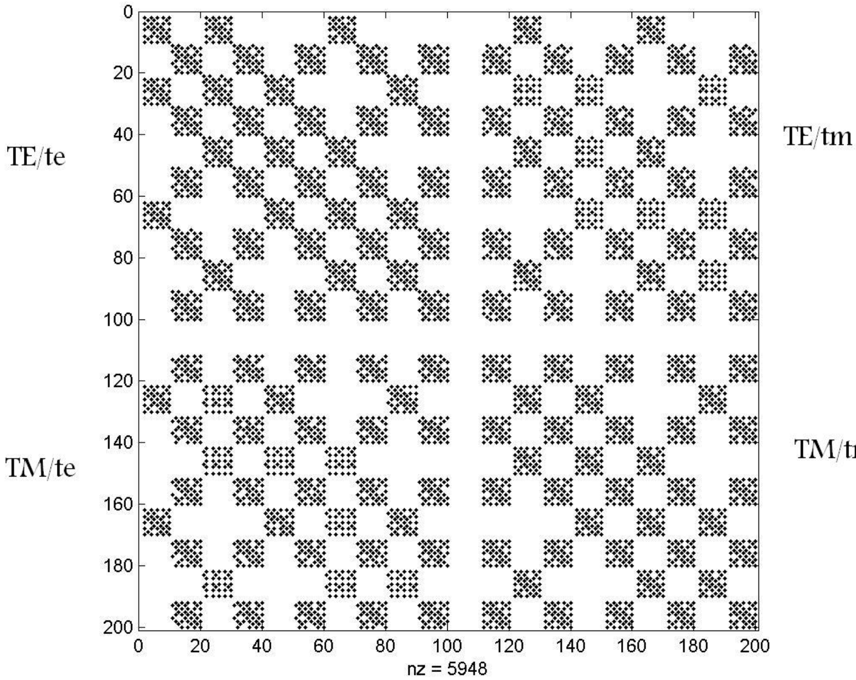
2-الحالة الثانية:(TE/tm):النمط المنتشر في الدليل الأول TE والنمط المنتشر في الدليل الثاني tm وعدد الأنماط في الدليل الأول q(m, n) وعدد الأنماط في الدليل الثاني p(m', n') أو p(m1,n1).

3-الحالة الثالثة:(TM/te):النمط المنتشر في الدليل الأول TM والنمط المنتشر في الدليل الثاني te وعدد الأنماط في الدليل الأول q(m, n) وعدد الأنماط في الدليل الثاني p(m', n') أو p(m1,n1).

4-الحالة الرابعة:(TM/tm):النمط المنتشر في الدليل الأول TM والنمط المنتشر في الدليل الثاني tm وعدد الأنماط في الدليل الأول q(m, n) وعدد الأنماط في الدليل الثاني p(m', n') أو p(m1,n1).

يبين الشكل(4-2) تأثير التقطع على توزع الأنماط في الحالات الأربع السابقة وذلك من أجل :

m=n=10,m'=n'=10



الشكل(4-2) تأثير التقطع على توزع الأنماط

نلاحظ في الشكل (4-2): يمكن تحديد جميع الأنماط (الموجودة والمعدومة) في كل حالة :

يمثل المربع الأسود :نمط موجود

يمثل المربع الأبيض :نمط معدوم

ملاحظة : بالرجوع إلى المعادلات في الفقرة (3-5) نجد :

من أجل (n=0): TM=0 , TE= 0

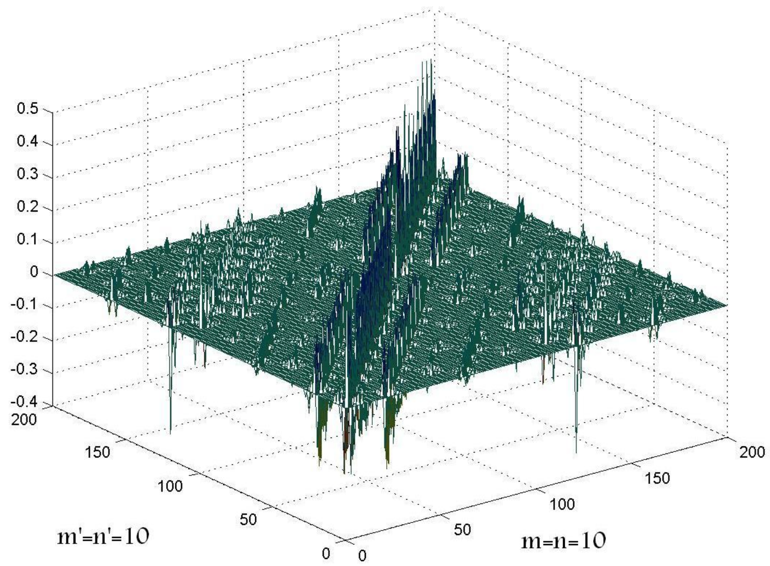
من أجل (m=0): TM=0 , TE≠ 0

أي أن من أجل (m=n=0) نحصل على الموجة المستوية.

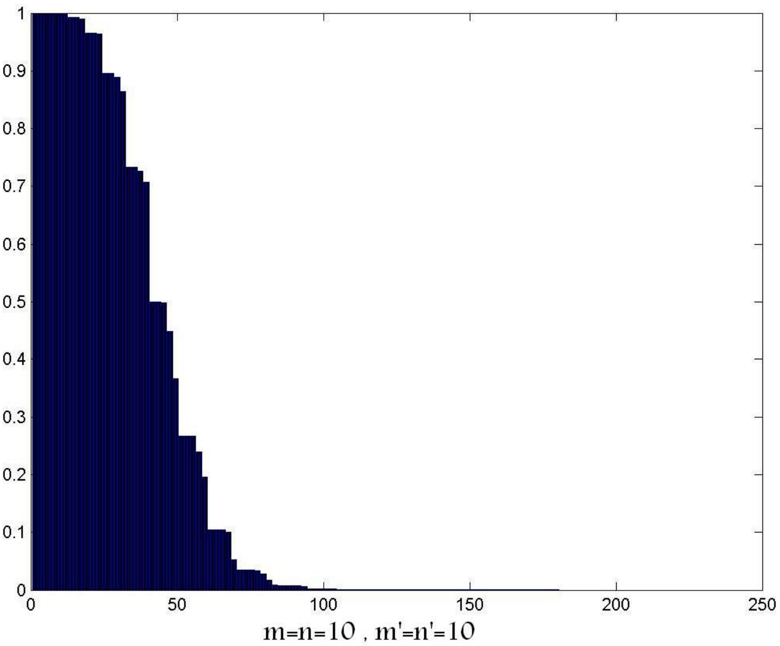
لذلك فإن تأثير التقطع على توزع الأنماط في الحالات الأربع السابقة تم دراسته من أجل:

(m=0 : 1 : 9 , n= 1 :1 :10)

ونلاحظ بأن الأنماط الأساسية المنتشرة (المؤثرة في منطقة الهوائي) تتوزع بشكل قطر رئيسي ويظهر ذلك واضحاً في الشكل(4-3) حيث تم رسم ثلاثي الأبعاد لتوزع الأنماط .



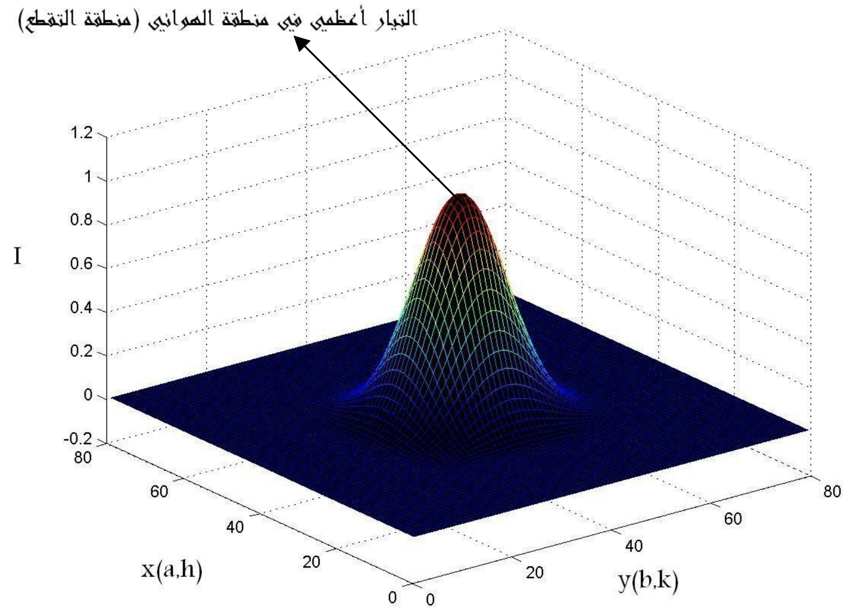
الشكل(4-3) رسم ثلاثي الأبعاد لتوزع الأنماط



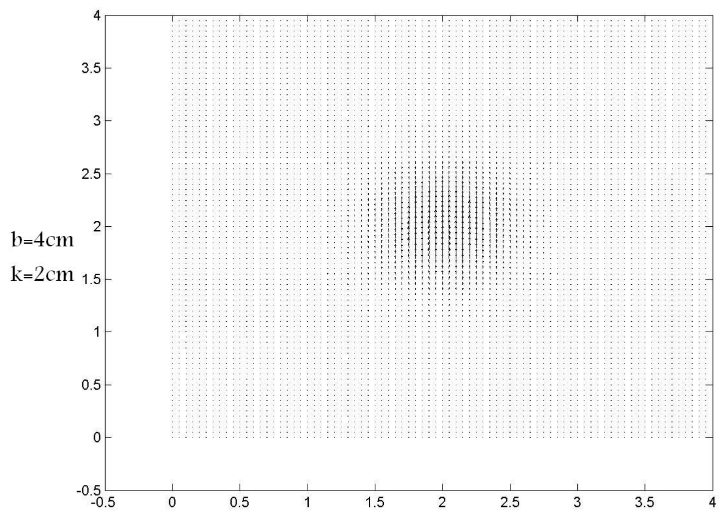
الشكل(4-4) تحديد القيم المطلقة للأنماط المؤثرة في منطقة الهوائي

4-2-2- دراسة تأثير التقطع على توزع التياروالجهد:

بما أن الهوائي الشرائحي المطبوع عبارة عن شريحة معدنية على طبقة عازلة لذلك يكون توزع التيار أعظمياً في منطقة الهوائي (منطقة التقطع) و معدوماً قبل وبعد منطقة الهوائي .

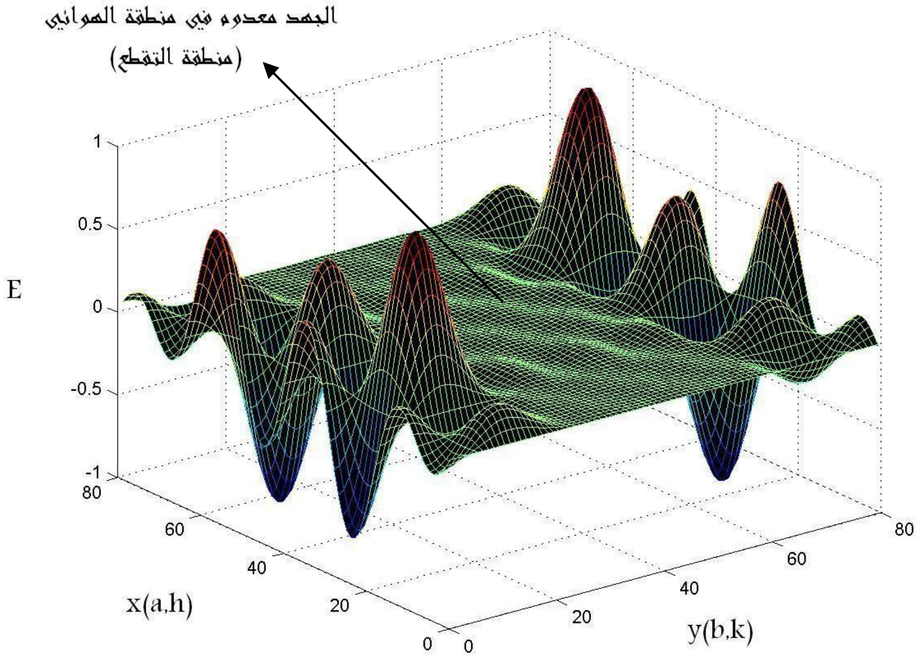


الشكل(4-5-a) توزع التيارأعظمي في منطقة التقطع(a=b=4cm , h=k=2cm)

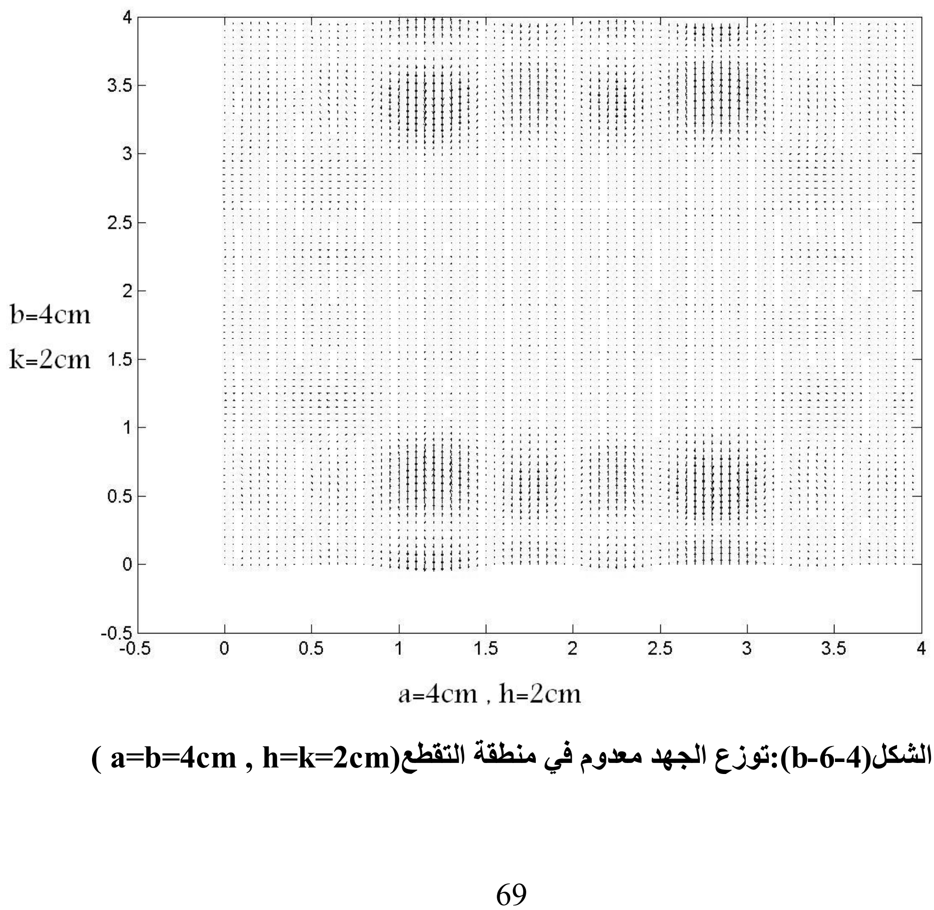


الشكل(4-5-b) توزع التيارأعظمي في منطقة التقطع
(a=b=4cm , h=k=2cm)

أما بالنسبة لتوزع الجهد يكون الجهد معدوماً في منطقة الهوائي (منطقة التقطع) و أعظمياً قبل وبعد منطقة الهوائي .



الشكل(4-6-a):توزع الجهد معدوم في منطقة التقطع(a=b=4cm , h=k=2cm)



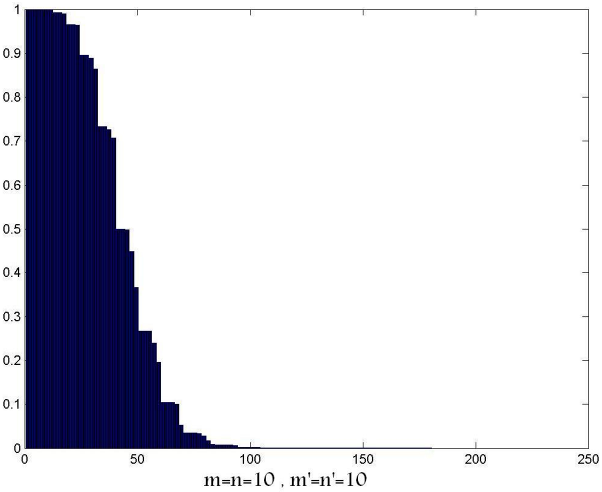
الشكل(4-6-b):توزع الجهد معدوم في منطقة التقطع(a=b=4cm , h=k=2cm)

4-2-3- دراسة تأثير تغير أبعاد الهوائي مع ثبات أبعاد الدليل على توزع الجهد وتوزع التيار وتوزع الأنماط:

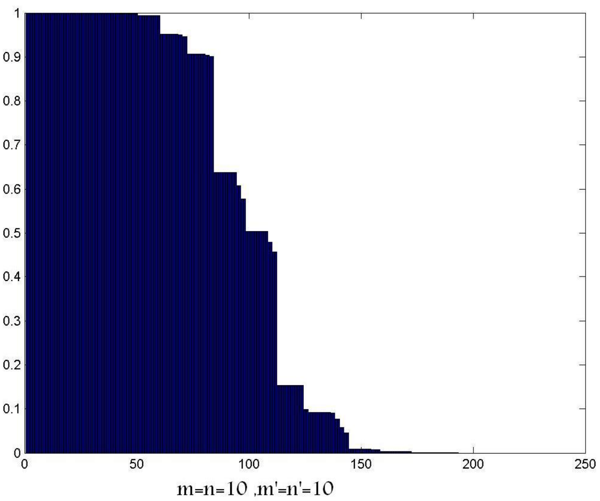
من المهم الملاءمة بين الهوائي و الدليل لأن زيادة أبعاد الهوائي بالنسبة لأبعاد الدليل تؤدي إلى زيادة توزع الأنماط في منطقة التقطع بسبب وجود الانعكاسات عن جدران الدليل وبالتالي ينتج عن ذلك تشوه في توزع الجهد وتوزع التيار في منطقة التقطع وهذا يزيد من صعوبة دراسة الممانعة وتصميم التردد.

يبين الشكل (4-7) : توزع الأنماط في منطقة الهوائي قبل وبعد زيادة أبعاد الهوائي :

نلاحظ بأن الأنماط المؤثرة في منطقة الهوائي تزداد من 100 نمط إلى 150 نمط بسبب زيادة أبعاد الهوائي وحدوث الانعكاسات عن جدران الدليل وتداخل الأمواج الواردة والمنعكسة.

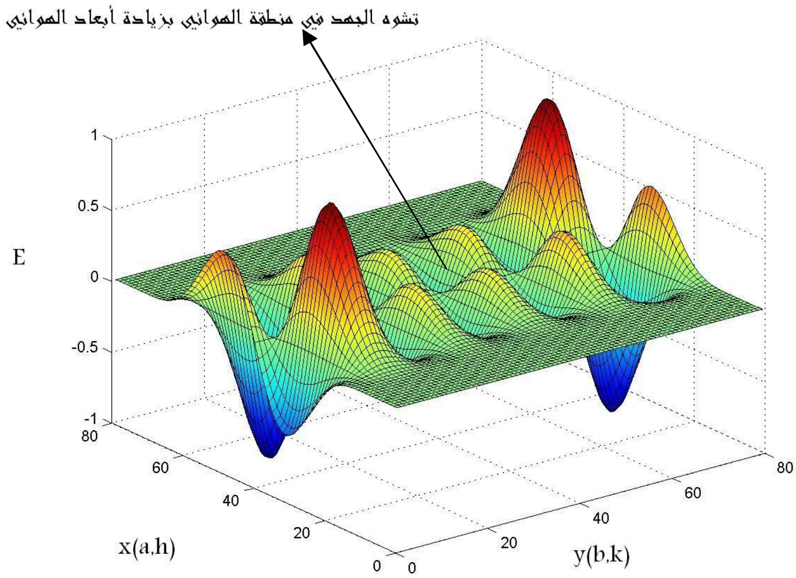


الشكل(4-7-a) توزع الأنماط قبل زيادة أبعاد الهوائي
(a=b=4cm , h=k=2cm , m=10 ,n=10)



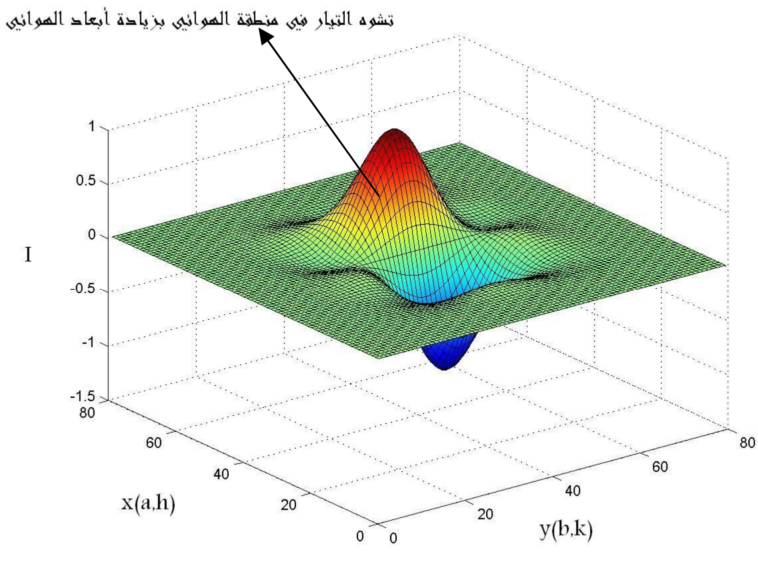
الشكل(4-7-b) توزع الأنماط بعد زيادة أبعاد الهوائي
(a=b=4cm , h=k=3cm, m=10 ,n=10)

- نلاحظ في الشكل (4-8):إن توزع الجهد غير معدوم في منطقة الهوائي عند زيادة أبعاد الهوائي مع ثبات أبعاد الدليل.



الشكل(4-8) توزع الجهد بعد زيادة أبعاد الهوائي
(a=b=4cm , h=k=3cm)

- نلاحظ في الشكل(4-9) إن توزع التيارمشوه وليس أعظمي في منطقة الهوائي عند زيادة أبعاد الهوائي مع ثبات أبعاد الدليل.



الشكل(4-9) توزع التيار بعد زيادة أبعاد الهوائي
(a=b=4cm , h=k=3cm)

4-3- تصميم تردد الهوائي الشرائحي المطبوع :

تعتبر معرفة تردد الهوائي الشرائحي المطبوع من أولى المطالب الأساسية لدى استخدام الهوائي لذلك لابد من رسم القسم التخيلي والحقيقي لممانعة دخل الهوائي من أجل تحديد التردد وبما أن التردد يرتبط بطول الموجة وبالتالي بأبعاد الهوائي لذلك لابد من دراسة علاقة تردد عمل الهوائي بأبعاده.

أيضاً لابد من تحديد عدد الأنماط اللازمة لتحديد حالة الاستقرارمن أجل الحصول على النتائج الصحيحة خلال فترة زمنية مناسبة.

تم تصميم تردد الهوائي الشرائحي المطبوع باتباع الخطوات التالية:

1- تحديد البرمترات الأساسية للهوائي الشرائحي المطبوع (أبعاد الهوائي (h,k) – ثابت العازلية للمادة العازلة - سماكة المادة العازلة).
2- تحديد البرمترات الأساسية لدليل الموجة (a,b).
3- تطبيق شرط الملائمة بين دليل الموجة والهوائي لمنع الانعكاسات والتشوه في توزع الأنماط والجهد والتيار: المسافة بين الهوائي ودليل الموجة أكبر من ربع طول الموجة.
4- رسم العلاقة المعبرة عن التردد بدلالة المصفوفة D والتي تضم الأنماط المنتشرة و السماحيات الموجودة في الدارة الكهربائية المكافئة لتطبيق نظرية Galerkin على التقطع في دليل الموجة.
5- إن أصفار المصفوفة D هي ترددات دارات رنين الهوائي الشرائحي المطبوع ويكون تردد الهوائي الشرائحي المطبوع المطلوب هو التردد الذي يحصل عنده أقل تغيير في حال تغيير أبعاد دليل الموجة وأكبر تغيير في حال تغيير أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع أي يجب أن يكون تغير التردد متناسباً مع تغير أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع.

4-3-1- تصميم تردد الهوائي الشرائحي المطبوع (دون وجود خط تغذية):

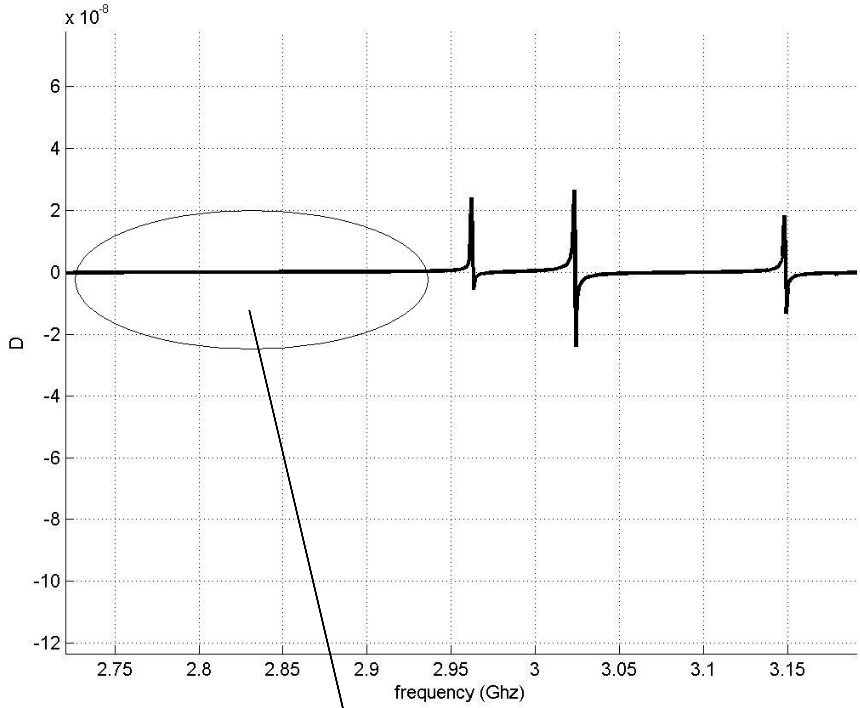
من أجل القيم التالية :

أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع : h=k=50mm

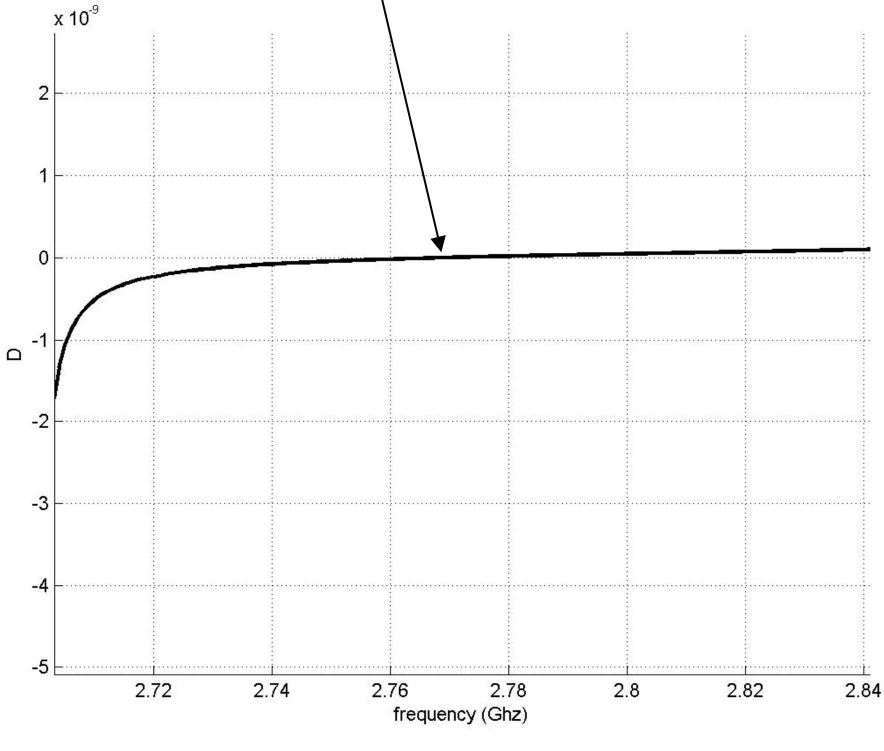
ثابت العازلية للمادة العازلة : $\varepsilon_r = 1.1$ وسماكة المادة العازلة l=5mm

أبعاد دليل الموجة a=b=110mm

يبين الشكل (4-10) العلاقة المعبرة عن التردد بدلالة المصفوفة D ونلاحظ بأنه لدينا عدة تقاطعات مع الصفرويكون التردد الذي يحصل عنده أقل تغيير في حال تغيير أبعاد دليل الموجة وأكبر تغيير في حال تغيير أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع هو : f=2.768GHZ



الشكل (4-10-a) يبين تقاطع المصفوفة D مع الصفر



الشكل (4-10-b) يبين قيمة تردد الهوائي الشرائحي المطبوع(دون وجود خط تغذية) من أجل القيم :
a=b=110mm , l=5mm , , $\varepsilon_r = 1.1$ **h=k=50mm**
f=2.768GHZ

4-3-2- تصميم تردد الهوائي الشرائحي المطبوع (بوجود خط تغذية):

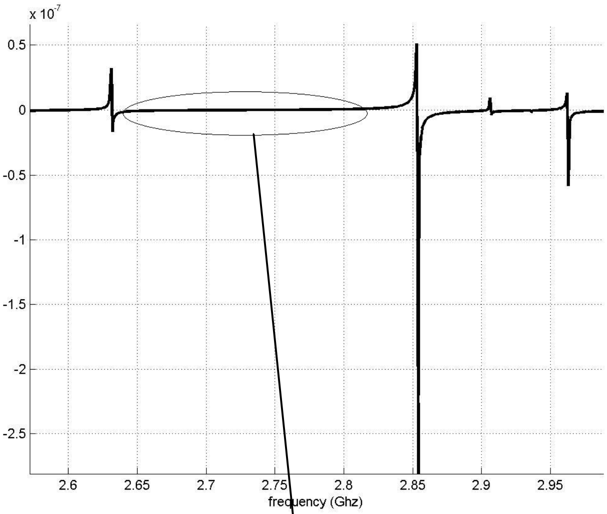
من أجل القيم التالية :

أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع : h=k=50mm

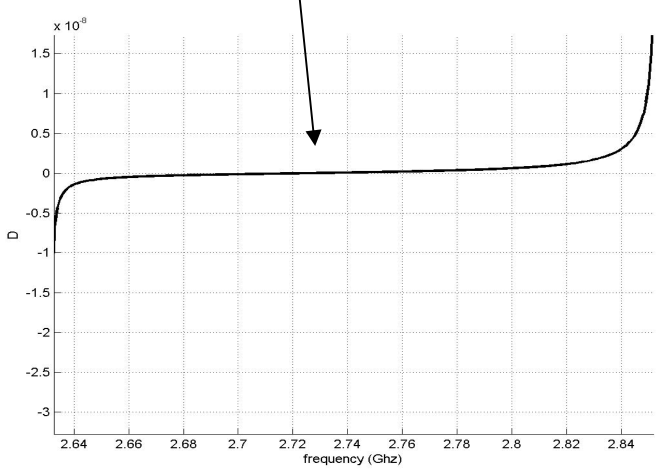
ثابت العازلية للمادة العازلة : $\varepsilon_r = 1.1$ وسماكة المادة العازلة l=5mm

أبعاد خط التغذية: h1=30mm , k1=5mm أبعاد دليل الموجة a=b=110mm

نلاحظ في الشكل (4-11) لدينا عدة تقاطعات مع الصفرويكون التردد الذي يحصل عنده أقل تغيير في حال تغيير أبعاد دليل الموجة وأكبر تغيير في حال تغيير أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع هو : f=2.72GHZ



الشكل (4-11-a) يبين تقاطع المصفوفة D مع الصفر



الشكل (4-11-b) يبين قيمة تردد الهوائي الشرائحي المطبوع(بوجود خط تغذية) من أجل القيم :

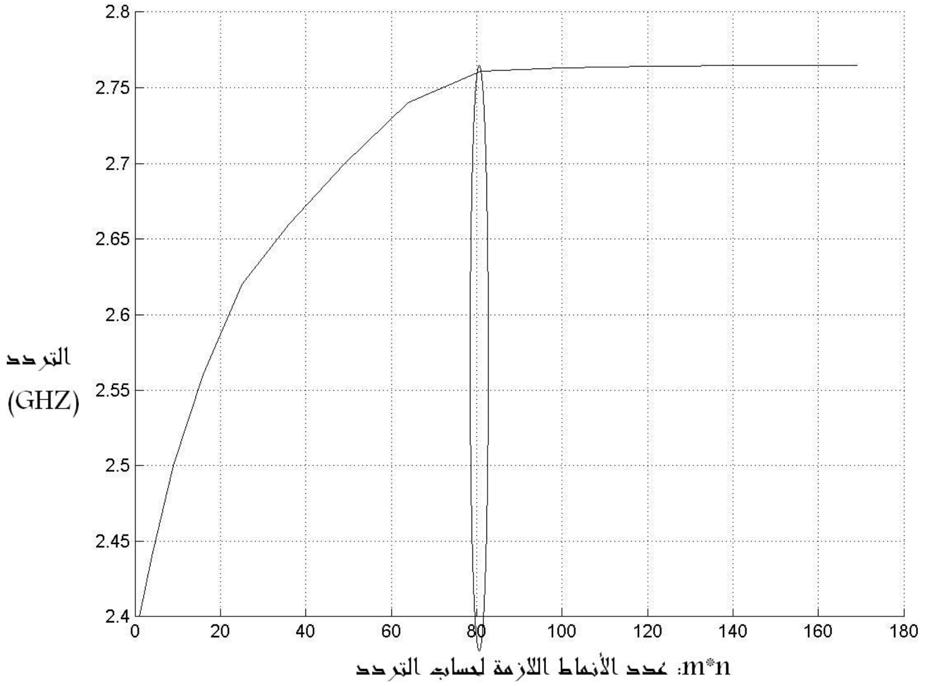
a=b=110mm , l=5mm , $\varepsilon_r = 1.1$, h=k=50mm,h1=30mm,k1=5mm

f=2.72GHZ

4- 4 - دراسة منحنيات التقارب والاستقرار في حساب التردد:

يقصد بدراسة منحنيات التقارب والاستقرار تحديد عدد الأنماط وعدد توابع المحاولة اللازمة لاستقرار التردد عند قيمة تردد عمل الهوائي الشرائحي المطبوع.

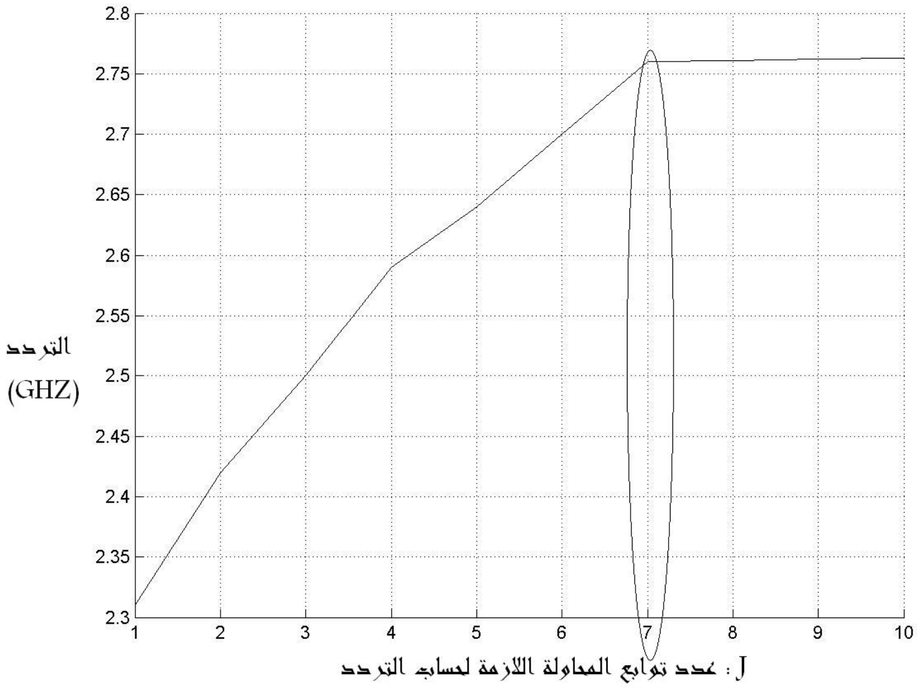
4-4-1- دراسة منحنيات التقارب والاستقرار من أجل عدد الأنماط:



الشكل (4-12) : تحديد عدد الأنماط اللازمة للاستقرار في حساب التردد

نلاحظ في الشكل (4-12) يكون تغير التردد كبيراً في البداية بالنسبة لتغير صغير في عدد الأنماط ولكن بزيادة عدد الأنماط يتناقص هذا التغير ليتأرجح حول تردد عمل الهوائي ، وبالتالي من أجل دراسة الهوائي الشرائحي المطبوع والحصول على النتائج الصحيحة في تصميم التردد يكتفى بأخذ عدد محدود من الأنماط (81 نمط).

4-4-2 - دراسة منحنيات التقارب والاستقرار من أجل عدد توابع المحاولة:



الشكل (4-13) :تحديد عدد توابع المحاولة اللازمة للاستقرار في حساب التردد

نلاحظ من الشكل (4-13) بأن عدد توابع المحاولة اللازمة للاستقرارفي حساب التردد هو J=7.

ملاحظة :

تم استخدام الأنماط المنتشرة في الدليل الثاني (te , tm) كتوابع محاولة ،وبتطبيق قانون الجداء السلمي بين الأنماط المؤثرة في الدليل الأول (TE ,TM) وتوابع المحاولة (te , tm) استنتجنا الأنماط المؤثرة في منطقة التقطع في الحالات التالية :TE/te , TE/tm , TM/te , TM/tm.

ومن أجل تقليل زمن الحساب استخدمنا سطراً واحداً فقط من هذه المصفوفات عند تصميم التردد وتعتبر هذه الخطوة أهم إيجابيات طريقتنا في تصميم الهوائي الشرائحي المطبوع حيث تم تحديد تردد الهوائي الشرائحي المطبوع بدقة وزمن حساب مناسبين مقارنة مع باقي طرق تصميم الهوائي الشرائحي المطبوع.

4-5- رسم القسم الحقيقي والتخيلي لممانعة دخل الهوائي الشرائحي المطبوع:

من المعلوم أنه عند تردد الطنين يكون القسم الحقيقي للممانعة أعظمياً وينعدم القسم التخيلي وبالتالي يمكن استنتاج قيمة التردد للهوائي الشرائحي المطبوع من رسم القسم الحقيقي والتخيلي لممانعة دخل الهوائي.

4-5 -1 - ممانعة دخل الهوائي الشرائحي المطبوع (دون وجود خط تغذية):

لاحظنا في الفقرة 4-3-1 بأن قيمة تردد الهوائي الشرائحي المطبوع (دون وجود خط تغذية) هي (f=2.768GHZ) من أجل القيم التالية :

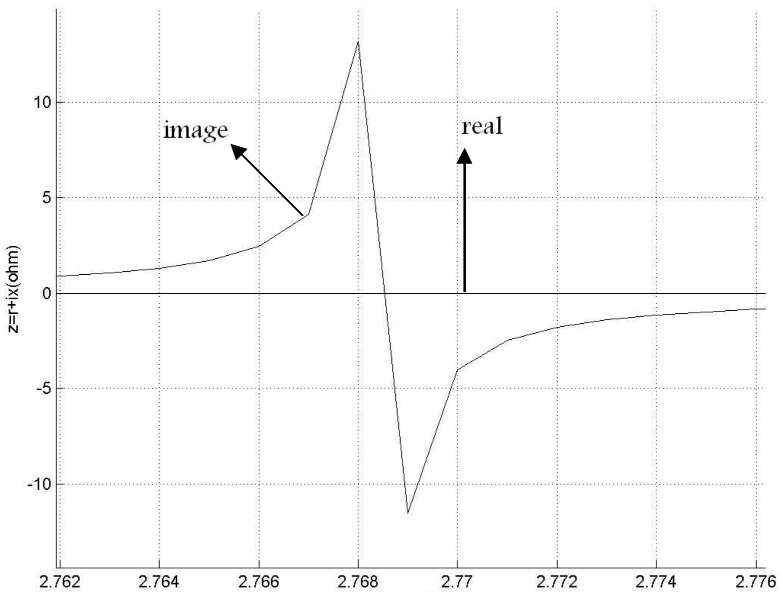
أبعاد الهوائي الشرائحي: h=k=50mm

ثابت العازلية للمادة العازلة : $\varepsilon_r = 1.1$ وسماكة المادة العازلة l=5mm

أبعاد دليل الموجة a=b=110mm

يبين الشكل (4-14): رسم القسم التخيلي والحقيقي لممانعة دخل الهوائي الشرائحي المطبوع (دون وجود خط تغذية) من أجل القيم السابقة :

نلاحظ بأن القسم التخيلي ينعدم عند التردد (f=2.768GHZ) أما القسم الحقيقي لايأخذ قيمة أعظمية لعدم وجود تغذية للهوائي الشرائحي المطبوع.



الشكل (4-14): رسم القسم التخيلي والحقيقي لممانعة دخل الهوائي الشرائحي(دون وجود تغذية)

a=b=110mm , l=5mm , , $\varepsilon_r = 1.1$ **h=k=50mm**
f=2.768GHZ

5-4 -2 - ممانعة دخل الهوائي الشرائحي المطبوع (بوجود خط تغذية):

لاحظنا في الفقرة 4-3-2 بأن قيمة تردد الهوائي الشرائحي (بوجود خط تغذية) هي (f=2.72GHZ) من أجل القيم التالية :

أبعاد الهوائي الشرائحي: h=k=50mm

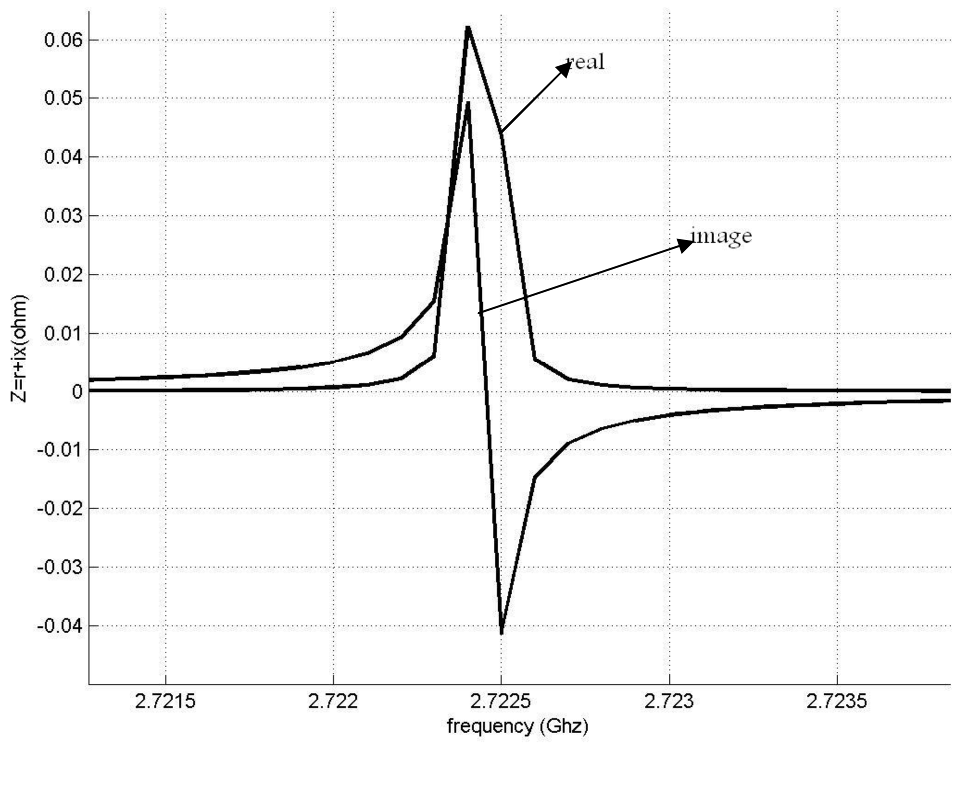
ثابت العازلية للمادة العازلة: $\varepsilon_r = 1.1$ وسماكة المادة العازلة l=5mm

أبعاد خط التغذية : h1=30mm , k1=5mm

أبعاد دليل الموجة a=b=110mm

يبين الشكل (4- 15-a): رسم القسم التخيلي والحقيقي لممانعة دخل الهوائي الشرائحي المطبوع (بوجود خط تغذية) من أجل القيم السابقة :

نلاحظ بأن القسم التخيلي ينعدم عند التردد (f=2.72GHZ) و القسم الحقيقي يأخذ قيمة أعظمية عند هذا التردد.



الشكل (4- 15 - a): رسم القسم التخيلي والحقيقي لممانعة دخل الهوائي الشرائحي(بوجود خط تغذية)

a=b=110mm , l=5mm , $\varepsilon_r = 1.1$, h=k=50mm,h1=30mm,k1=5mm
f=2.72GHZ

من أجل القيم التالية :

أبعاد الهوائي الشرائحي: h=k=30mm

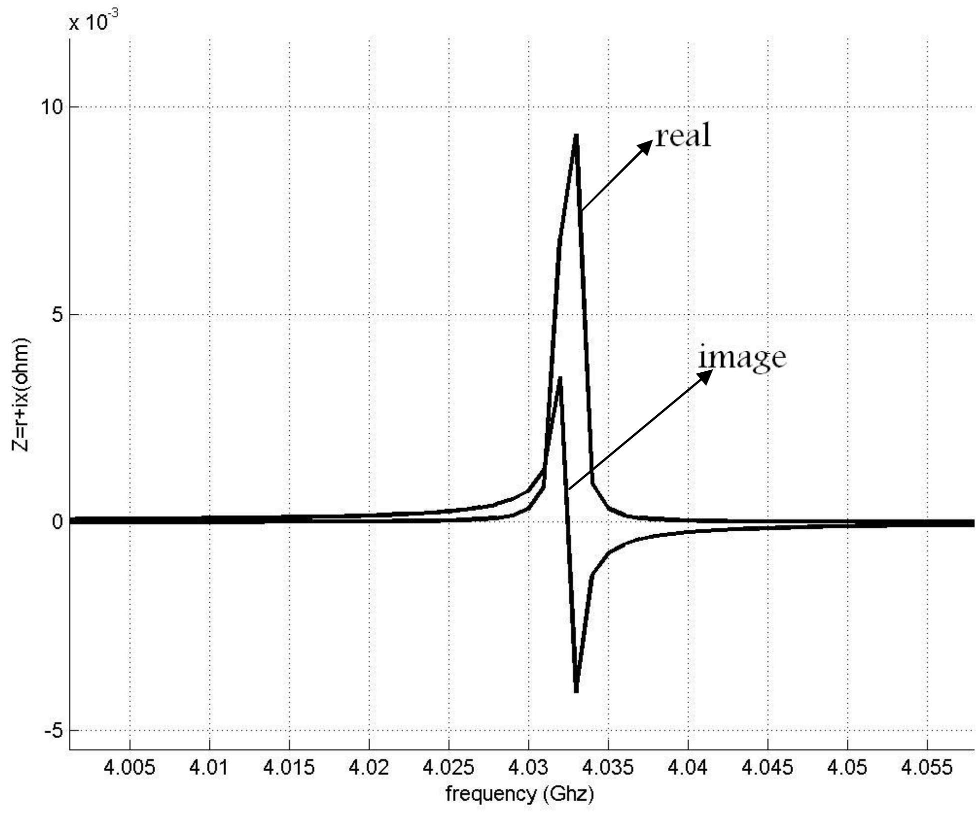
ثابت العازلية للمادة العازلة : $\varepsilon_r = 1.1$ وسماكة المادة العازلة l=3mm

أبعاد خط التغذية : h1=20mm , k1=3mm

أبعاد دليل الموجة a=b=62mm

يبين الشكل (4-15-b): رسم القسم التخيلي والحقيقي لممانعة دخل الهوائي الشرائحي المطبوع (بوجود خط تغذية) من أجل القيم السابقة :

نلاحظ بأن القسم التخيلي ينعدم عند التردد (f=4.03GHZ)و القسم الحقيقي يأخذ قيمة أعظمية عند هذا التردد.



الشكل (4- 15 - b): رسم القسم التخيلي والحقيقي لممانعة دخل الهوائي الشرائحي(بوجود خط تغذية)
a=b=62mm , l=3mm , $\varepsilon_r = 1.1$**, h=k=30mm,h1=20mm,k1=3mm**
f=4.03GHZ

6-4- علاقة تردد عمل الهوائي الشرائحي المطبوع بأبعاده:

من أجل التأكد من تردد عمل الهوائي الشرائحي المطبوع فإننا نلجأ إلى تغيير أبعاده ، حيث يكون تغير تردد عمل الهوائي متناسباً مع تغير أبعاده .

لاحظنا في الفقرة 4-3-1 بأن قيمة تردد الهوائي الشرائحي المطبوع (دون وجود خط تغذية) هي (f1=2.768GHZ) من أجل القيم التالية :

أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع : h=k=50mm

ثابت العازلية للمادة العازلة : $\varepsilon_r = 1.1$ وسماكة المادة العازلة l=5mm

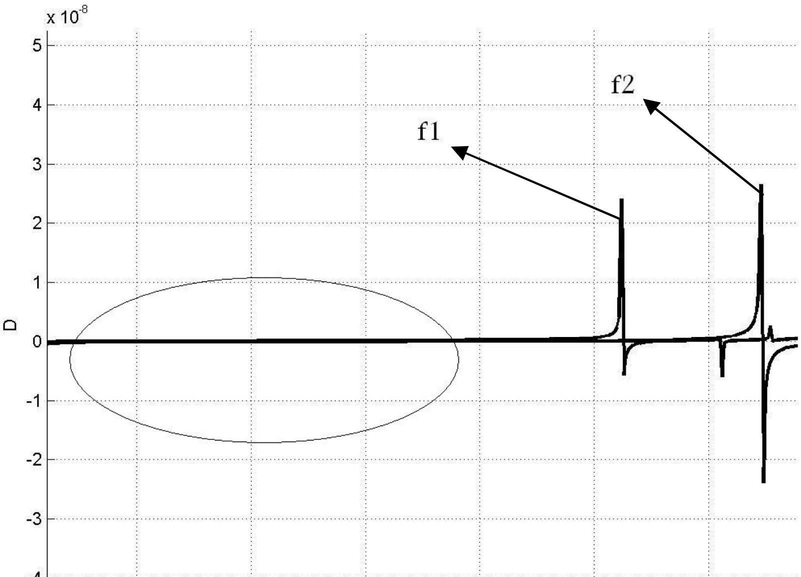
عند تغيير طول الهوائي بمقدار 3mm :

أبعاد الهوائي الشرائحي: h=k=47mm

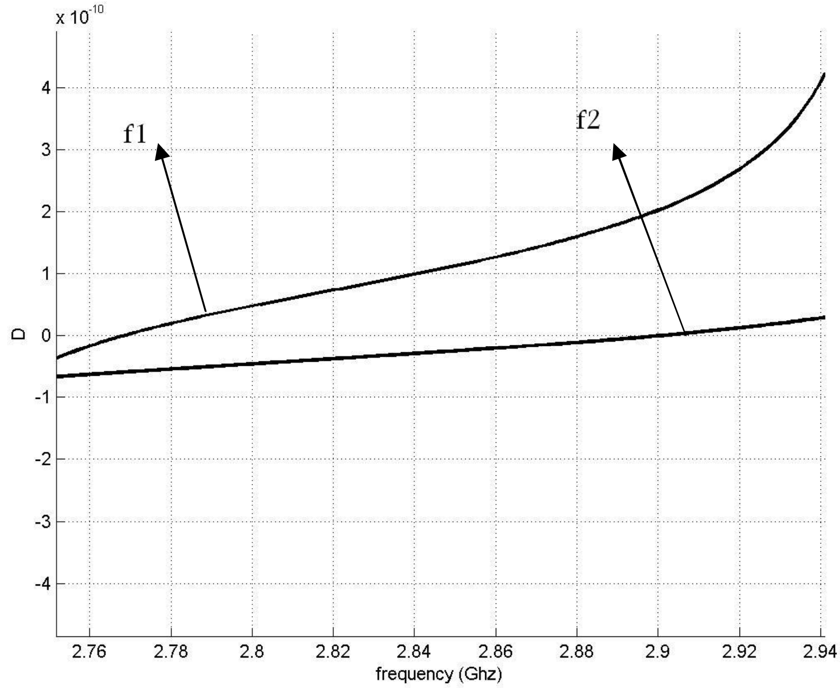
ثابت العازلية للمادة العازلة : $\varepsilon_r = 1.1$ وسماكة المادة العازلة l=5mm

نلاحظ من الشكل (4-16) بأن قيمة التردد تصبح (f2=2.9GHZ).

أي أن نقصان طول الهوائي بمقدار 6% أدى إلى زيادة التردد بمقدار 5.7%



الشكل (a-16-4): علاقة تردد الهوائي الشرائحي المطبوع بأبعاده



الشكل (b-16-4): علاقة تردد الهوائي بأبعاده

f1=2.768 GHZ:(h=k=50mm, l=5mm)
f2=2.9 GHZ:(h=k=47mm, l=5mm)

نلاحظ من الحسابات السابقة بأن أبعاد الهوائي تتناسب عكساً مع تردد عمله .

7-4 علاقة تردد عمل الهوائي الشرائحي المطبوع بثابت العازلية النسبي للمادة العازلة:

تعتبر عملية تحديد طبيعة المادة العازلة المكونة لطبقة الأساس من العمليات الهامة جداً ، وخاصة عند التصميم العملي ، ولهذا كان لابد من دراسة علاقة تردد طنين عمل الهوائي الشرائحي المطبوع بثابت العازلية النسبي للمادة العازلة.

حيث أن أي تغير في أحد بارمترات الهوائي يعني تغيراً في الخواص الإشعاعية لهذا الهوائي لذلك فإن أهمية هذه المرحلة تكمن في تحقيق عملية التحكم بالخواص الإشعاعية للهوائي عن طريق ثابت العازلية الكهربائي النسبي للمادة العازلة.

لاحظنا في الفقرة 4-3-1 بأن قيمة تردد الهوائي الشرائحي المطبوع(دون وجود خط تغذية) هي (f1=2.768GHZ) من أجل القيم التالية :

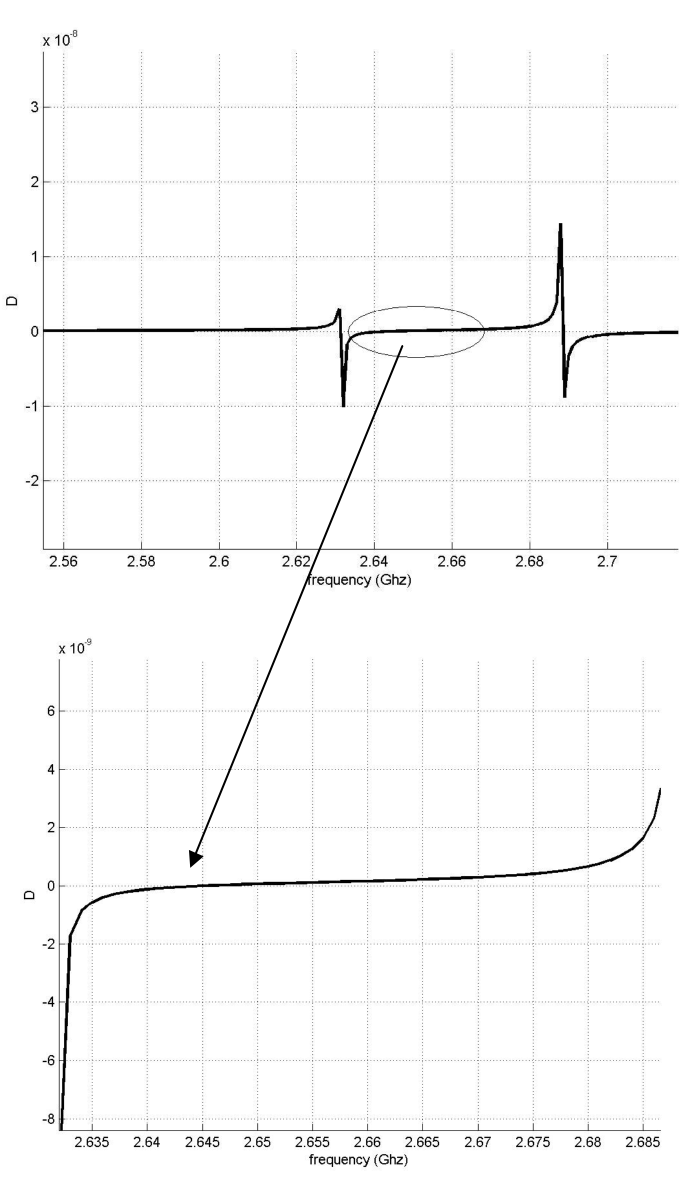
أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع: h=k=50mm

ثابت العازلية للمادة العازلة : $\varepsilon_r = 1.1$ وسماكة المادة العازلة l=5mm

أما إذا كانت قيمة ثابت العازلية للمادة العازلة $\varepsilon_r = 1.2$ وسماكة المادة العازلة l=5mm

أبعاد الهوائي الشرائحي المطبوع: h=k=50mm :

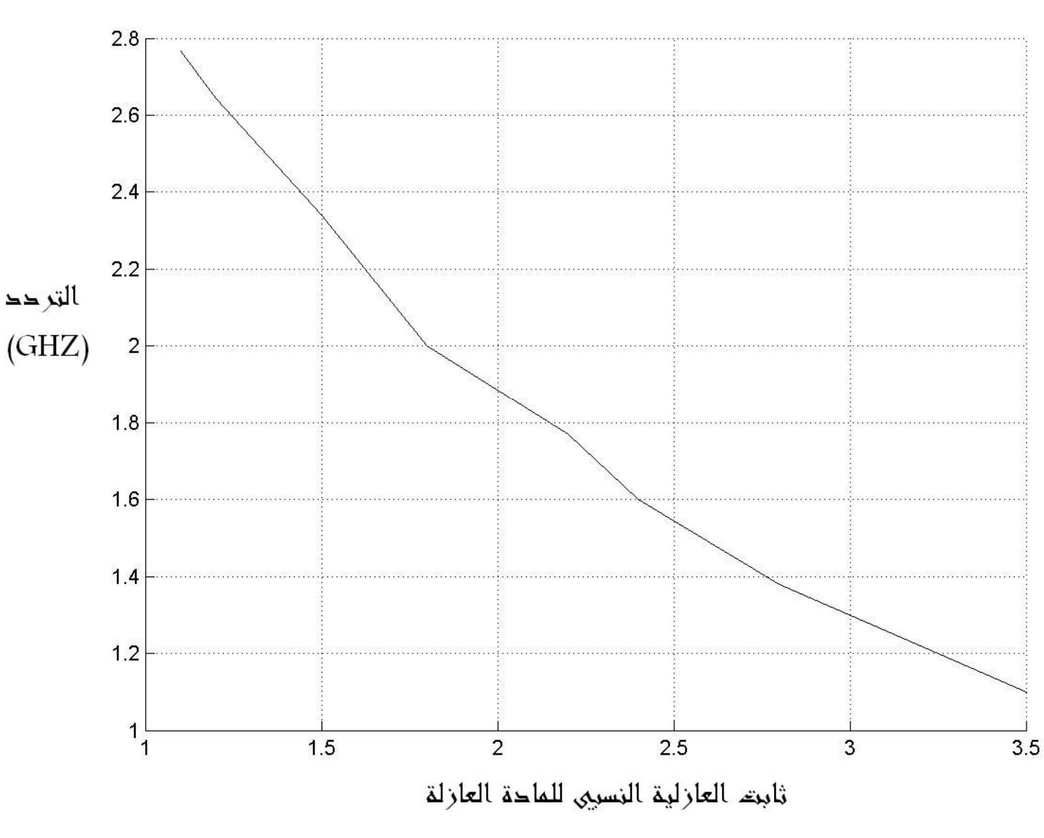
نلاحظ من الشكل (4-17) :إن قيمة تردد الهوائي الشرائحي المطبوع (f2= 2.645 GHZ)



الشكل (4-17): قيمة تردد الهوائي الشرائحي عند القيم $\varepsilon_r = 1.2$
l=5mm , h=k=50mm
(f2= 2.645 GHZ)

نلاحظ من الحسابات السابقة بأن تردد عمل الهوائي يتناقص بزيادة السماحية الكهربائية للمادة العازلة وهذا يعود إلى أن التردد يتناسب عكساً مع $\sqrt{\varepsilon_r}$ ،وبالتالي بتغيير قيمة السماحية الكهربائية ينتج عنه تغير في قيمة تردد طنين عمل الهوائي ، وهذا يفرض بالضرورة تغيراً في الخواص الإشعاعية للهوائي .

يبين الشكل (4-18): علاقة تردد عمل الهوائي الشرائحي المطبوع بثابت العازلية النسبي للمادة العازلة ε_r.



الشكل (4-18): علاقة التردد بثابت العازلية النسبي للمادة العازلة ε_r

الفصل الخامس

التحقق من النتائج بالمقارنة مع طرق حساب تردد الهوائي الشرائحي المطبوع:

5-1- التحقق من النتائج مقارنة مع نتائج طريقة Genetic Algorithm:

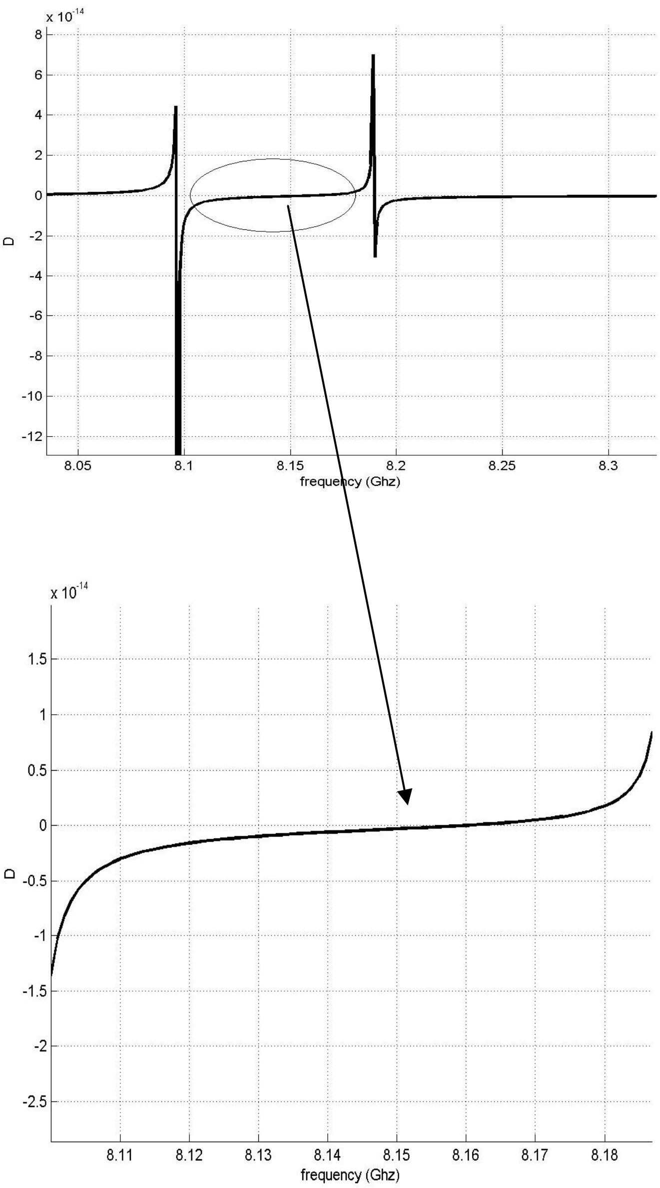
من أجل القيم: $l=3mm$, $k=10mm$, $h=11.5mm$, $\varepsilon_r = 2.55$

1- **طريقة Genetic Algorithm [5]** : قيمة التردد f=8 GHZ

2- **طريقة Galerkin**: أبعاد دليل الموجة : a=25mm, b=25mm

قيمة التردد f=8.16 GHZ

الفرق بين الطريقتين في حساب التردد :2%



الشكل (5-1):قيمة التردد عند القيم $l=3mm$, $k=10mm$, $h=11.5mm$, $\varepsilon_r = 2.55$ باستخدام طريقة Galerkin

2-5- التحقق من النتائج مقارنة مع نتائج طريقة Green:

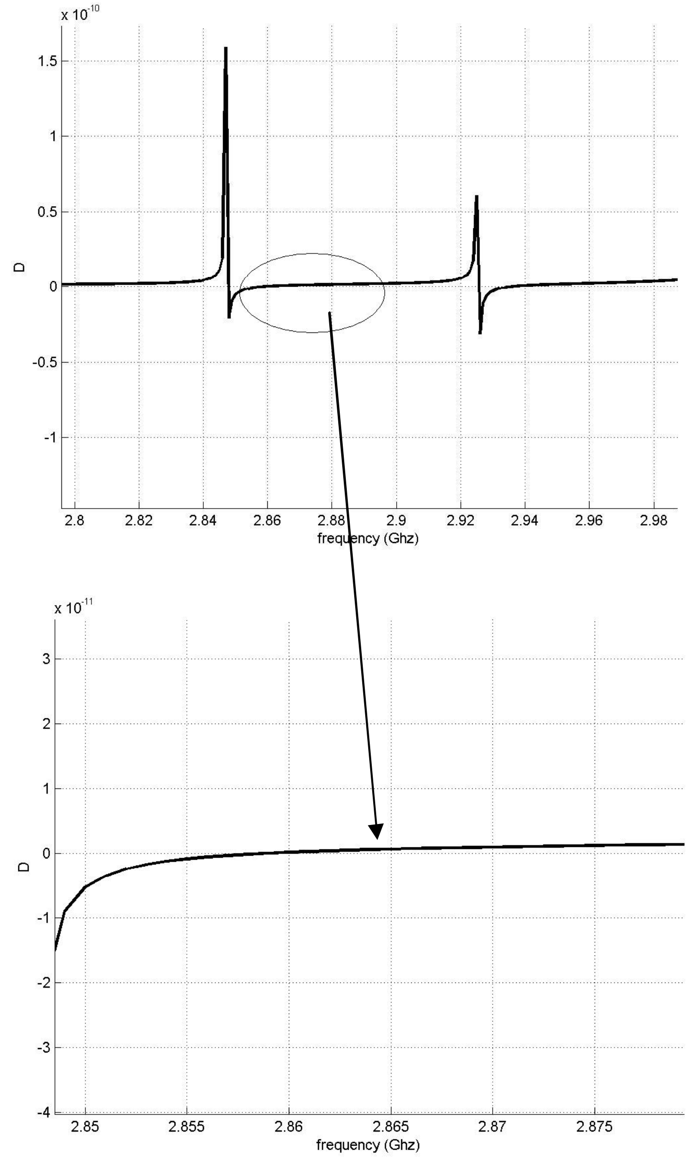
من أجل القيم: $l=7.94mm$, $k=30mm$, $h=34mm$, $\varepsilon_r = 2.62$

1-طريقة Green [7] : قيمة التردد f=2.9 GHZ

2-طريقة Galerkin: أبعاد دليل الموجة: a=80mm , b=70mm

قيمة التردد f=2.86 GHZ

الفرق بين الطريقتين في حساب التردد :1.7%



الشكل (2-5):قيمة التردد عند القيم $\varepsilon_r = 2.62$ l=7.94mm , k=30mm , , h=34mm

باستخدام طريقة Galerkin

3-5- التحقق من النتائج مقارنة مع نتائج الطريقة التكاملية:

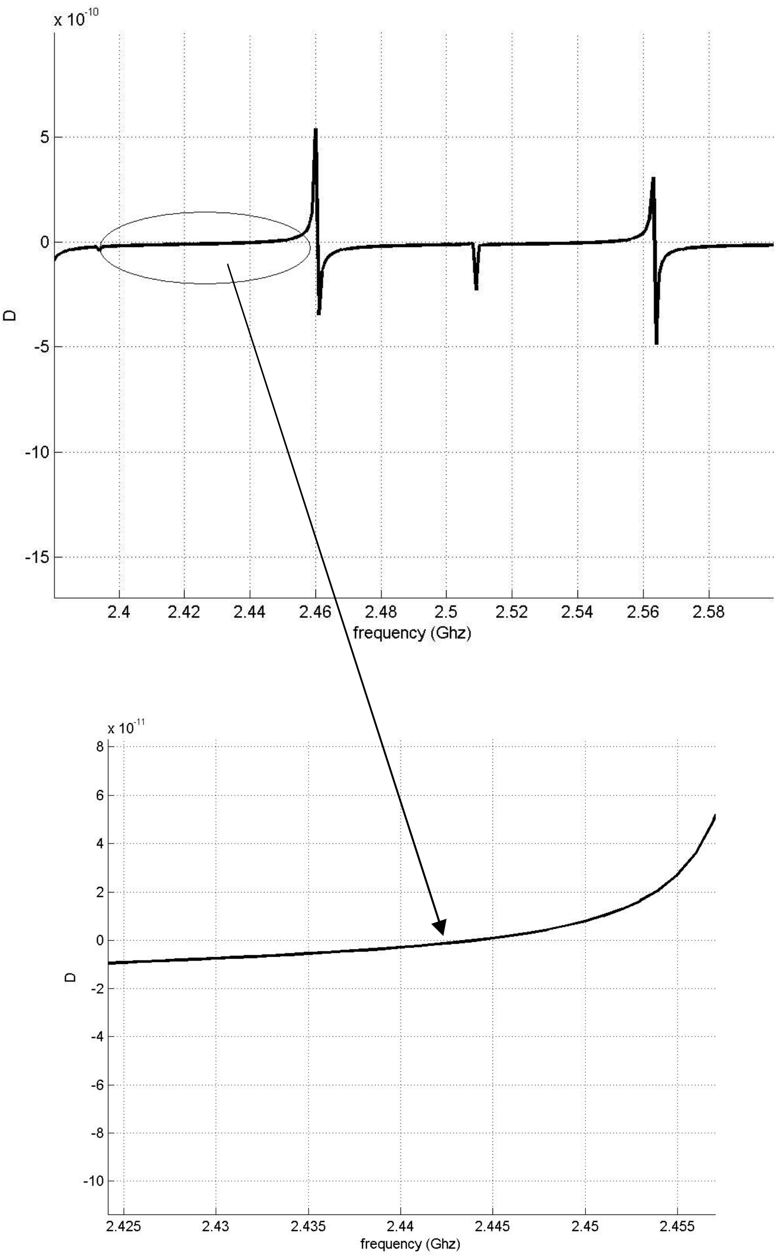
من أجل القيم: l=3.18mm , k=37.5mm , h=275mm, $\varepsilon_r = 2.32$

1-الطريقة التكاملية [6]: قيمة التردد f=2.48 GHZ

2-طريقة Galerkin: أبعاد دليل الموجة: b=100mm , a=620mm

قيمة التردد f=2.444 GHZ

الفرق بين الطريقتين في حساب التردد:1.6%



الشكل (3-5):قيمة التردد عند القيم $\varepsilon_r = 2.32$ l=3.18mm , k=37.5mm ,h=275mm

باستخدام طريقة Galerkin

4-5- تصميم الهوائي الشرائحي المطبوع المستخدم في مخبر الهوائيات باستخدام طريقة Galerkin:

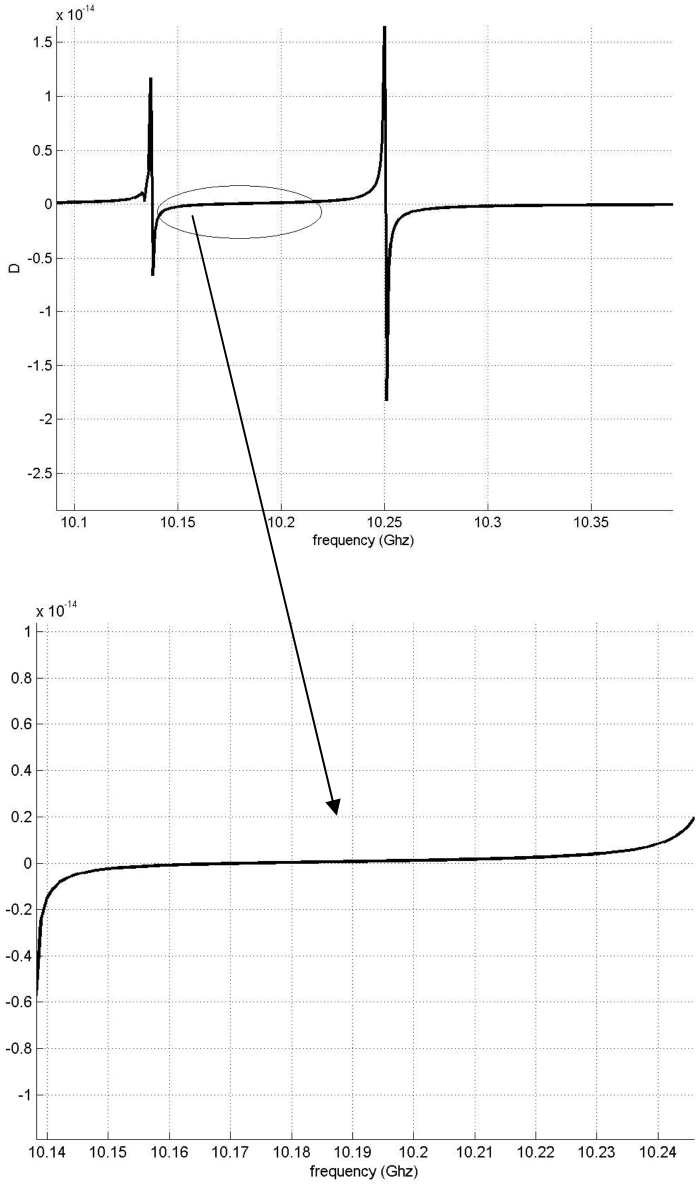
يعمل الهوائي الشرائحي المطبوع المستخدم في مخبر الهوائيات عند التردد 10GHZ من أجل القيم التالية : l=5mm , $\varepsilon_r = 4.37$, h=13mm , k=8.3mm

بفرض تم تصميم هذا الهوائي باستخدام طريقة Galerkin من أجل دليل موجة :

a=30mm , b=18 mm

نلاحظ من الشكل(4-5) إن تردد هذا الهوائي هو : 10.19 GHZ

الفرق بين قيمتي التردد 1.8%



الشكل(4-5) قيمة التردد عند القيم l=5mm , $\varepsilon_r = 4.37$, h=13mm , k=8.3mm باستخدام طريقة Galerkin

الاستنتاجات والتوصيات:

1- إن استخدام نظرية Galerkin في دراسة وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة مكننا من رسم الدارة الكهربائية المكافئة للهوائي الشرائحي المطبوع وتحديد تردد عمله وممانعة دخله .

2-إن دراسة توزع الأنماط وتوزع الجهد والتيار في منطقة الهوائي هي الأساس في تحقيق الملاءمة بين الهوائي المراد تصميمه و دليل الموجة.

3-تم في هذا البحث تصميم تردد الهوائي الشرائحي المطبوع بزمن حساب صغير نسبياً مقارنة مع الطرق الأخرى المستخدمة في دراسة وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة نتيجة دراسة منحنيات التقارب والاستقرار والتي حددت عدد الأنماط وعدد توابع المحاولة اللازمة لحساب تردد عمل الهوائي الشرائحي المطبوع.

4-إن دراسة علاقة تردد عمل الهوائي الشرائحي المطبوع بثابت العازلية للمادة العازلة تمكننا من التحكم بالخواص الإشعاعية لهذا الهوائي .

5- هناك حاجة للتنفيذ العملي لهذا النوع من الهوائيات والقيام بعملية المقارنة بين المخطط الإشعاعي الناتج عن عملية الحساب الرياضي والمخطط الإشعاعي العملي ، وذلك عند توفر القاعدة المادية التي ستساعد على إنجاز مثل هذا النوع من الهوائيات، من ناحية الدقة في تصنيع رقعة الهوائي ، وتوافر طبقة عازلة يتوضع عليها الهوائي ذات مواصفات محددة ومستقرة ، وتوافر كابلات وأقطاب التوصيل ، بالإضافة إلى توافر أجهزة القياس والتحليل المناسبة للمجال الترددي للهوائي المدروس.

المراجع العلمية

المراجع الأجنبية:

[1.Pozar,D. *Microstrip antenna aperture-coupled to a microstripline,* Electron,Lett,1985.

[2]- BAHL,J;BHARTIA,P. *Microstrip Antenna*. Dedham,Artech House, 1980.

[3]- BABNIS ,A. *Antenna Theory, Analyses and design* . seconde edition, New York,Harper& Row, 1997.

[4] - BAUDRAND, H. *Introduction Au Calcul de Circuits Microondes* . Toulouse, 2001.

[5]- CHATTORAJ,N;S.ROY,J. *Application of Genetic Algorithm to the Optimization of Microstrip Antennas with and without superstrate*.IEEE Trasn , Micro Strip Antennas ,2007,32-35.

[6]- ARUNK,B .*Long Rectangular Patch Antenna with a Single Feed*. IEEE Trasn, Antennas and propagation, 1995,987-993.

[7]-IRSADI,S;CHUANG,L. *On Slot-Coupled Microstrip Antennas and their Applications* . IEEE Trasn, Antennas and propagation, 1990-1224-1230.

[8]-AMMANA,M . *Design of Rectangular Microstrip Patch Antennas for the 2.4 GHz Band* , Applied Microwave and Wireless, November/December 1997-24-34.

المراجع العربية :

9-علي،زياد .دراسة وتصميم هوائي مطبوع مع التحكم بخواصه الإشعاعية . مديرية الكتب والمطبوعات ،جامعة حلب، 2006.

10- يونس،معين .الهوائيات وانتشار الأمواج .مديرية الكتب والمطبوعات، جامعة تشرين، 1996.